

МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

**В.Т.Трофимов,
Д.Г.Зилинг**

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов геологических специальностей
высших учебных заведений

Геоинформмарк
Москва * 2002

УДК 55;504;574

ББК 20.1+26.3

Т 76

Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. Учебник. - М.: ЗАО "Теоинформмарк", 2002.-415 с. ISBN 5-900357-58-9.

Рассмотрены теоретические положения экологической геологии, ее научный метод, критерии оценки состояния эколого-геологических условий, положение экологической геологии в системе геологических наук; систематически охарактеризованы ресурсная, гео-динамическая, геохимическая и геофизическая экологические функции литосферы, методы получения эколого-геологической информации, методика инженерно-экологических изысканий и составления эколого-геологических карт, методы управления состоянием эколого-геологических систем.

Для студентов геологических, географических и биологических специальностей, а также геологов, географов, биологов, почвоведов, медиков и других специалистов, связанных с решением проблем окружающей среды.

Рецензенты:

кафедра экологической геологии Санкт-Петербургского государственного университета (зав. кафедрой д-р геол.-минер. наук, проф. В.В.Куриленко);

д-р техн. наук, проф., акад. РАЕН О.Л.Кузнецов;

д-р геол.-минер. наук, проф., акад. РАЕН В.К.Хмелевской

ВВЕДЕНИЕ

Взаимодействие человека с окружающей средой и литосферой как ее составной частью - проблема не новая, уходящая своими корнями в каменный век, когда пещеры стали использоваться первобытными людьми в качестве жилища, а одним из первых орудий труда стал каменный топор. Этим исчерпывалось использование ресурсных функций литосферы, и только природные катастрофические геологические процессы оказывали негативное воздействие на развитие человеческой популяции. Определяющими в этом взаимодействии были природные, в том числе и геологические, факторы, а человек вынужден был приспосабливаться к ним, имея полную свободу для миграции и выбора оптимального места обитания. Лимита геологического пространства как такового тогда еще не существовало.

В последующие века в процессе эволюционного развития человек расселился по всей планете за **исключением** ее полярных частей и высокогорий. Произошла концентрация населения в городских поселениях и взаимодействие человека со средой обитания стало более тесным, приобретая черты своеобразного **“партнерства”** без существенного изменения экологических свойств литосферы и других геосферных оболочек Земли. Относительную гармонию того периода нарушали только катастрофические природные процессы —наводнения, землетрясения и извержения вулканов (гибель Помпеи) и др. Однако уже тогда люди стали задумываться над экологическими вопросами. Философы Древней Греции и Китая еще до наступления новой эры призывали жить в единении и согласии с природой.

Такие условно гармонические связи между человеком и природой сохранились до момента, пока человек не стал декларировать идею о покорении природы и неисчерпаемости природных ресурсов. Очаговая интенсификация животноводства (выпаса животных) и поливного земледелия приводила к опустыниванию и засолению земель, делая их непригодными для обитания. Многие города Средней Азии бы-

ли погребены песками из-за природной и антропогенной активизации эолового процесса. Все это приводило к тяжелым экологическим последствиям локального характера. Погибали или переселялись племена и даже народы, но экологический кризис охватывал отдельные территории и не имел глобального распространения. И только с конца **семнадцатого—начала** восемнадцатого веков воздействие человека на среду обитания стало всеобщим и, как правило, разрушительным. Началась эпоха техногенеза.

На этом этапе воздействие человечества на природную среду выражается в сработке энергетических ресурсов, загрязнении геосферных оболочек Земли. Процесс техногенеза стал явлением грандиозным по масштабам и опасным по своим последствиям. Так, объем твердых отходов промышленности и быта оценивается в 20–30 млрд т вещества, из которых около половины составляют органические соединения; выпускается до 1 млн различных веществ, отсутствующих в природной среде; вносится в почву порядка 100 млн т минеральных удобрений и более 500 000 т различных токсикантов, за один год извлекается из недр до 100 млрд т минерального сырья, освоено 56% поверхности суши; ежегодно в водоемы сбрасывается около 600 млрд т промышленных стоков, требующих 12–15-кратного разбавления для их нейтрализации. На фоне все ускоряющегося роста народонаселения это породило современный глобальный экологический кризис, признаваемый практически всеми учеными.

По этой причине, наверное, нет отраслей общественных и естественных наук, которые остались бы в стороне от решения экологических проблем. Особое место они занимают в системе наук о Земле и распространяются на все виды взаимодействия человеческого сообщества с природой. Ныне экология возводится в ранг обобщающей науки, которая включает в себя экологические направления геологических, географических, биологических, медицинских и социальных научных дисциплин. Чрезвычайно актуальным стал вопрос: "Что произойдет с человечеством при потере биосферой способности поддерживать свои биохимические циклы с распадом экологических систем?" По мнению ряда специалистов, настало время разработки историко-геоэкологической основы для долгосрочного прогнозирования будущего земной экосистемы. Другими словами, назрела необходимость разработки теоретических и методических основ решения глобальных экологических проблем. Наряду с этим не менее актуальным стало практическое решение локальных экологических вопросов, обусловленных особенностями развития природных процессов и техногенным освоением той или иной территории.

Реалии жизни дали стимул к экологизации социальных и естественных наук. Она отчетливо проявилась и в геологии: сформирова-

лось новое направление - *экологическая геология, изучающая верхние горизонты литосферы как одну из основных абиотических компонент экосистем высокого уровня организации*. Теоретико-методологические основы этого нового направления в геологии рассмотрены в монографиях "Теория и методология экологической геологии" (1997) и "Экологические функции литосферы" (2000), опубликованных под редакцией В.Т.Трофимова. В этих работах показано, что если традиционно, с момента зарождения геологических наук, литосфера исследовалась с позиций поиска полезных ископаемых, а затем и в связи с инженерно-хозяйственной деятельностью человека, *то в последние годы возникла необходимость оценить литосферу как вещественную и энергетическую основу существования биоты и в первую очередь — человеческого сообщества*. Исчезновение мифов о неисчерпаемости минеральных ресурсов и геологического пространства, обусловленное реалиями современного развития общества, объективно заставило оценить роль литосферы с точки зрения комфортности проживания человека и самой возможности его существования. Возникла необходимость рассмотреть в неразрывной связи атрибутивные экологические качества литосферы и их современное состояние с экологическим состоянием биоты и условиями развития человеческого общества. По нашему представлению, теоретической и методической основой такого исследования и должно **стать учение об экологических функциях литосферы** -ресурсной, геодинамической, геохимической и геофизической.

Настоящий учебник "Экологическая геология" - первый учебник по этой учебной дисциплине. В его основу положен материал программы курса "Экологическая геология", читаемый студентам геологического факультета Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. В нем рассмотрены теоретические положения экологической геологии и ее место в системе геологических наук, систематически описаны экологические функции литосферы и их трансформация под воздействием **техногенеза**, а также методические вопросы нового научного направления. Последние включают характеристику методов получения эколого-геологической информации, особенностей ее получения в ходе инженерно-экологических изысканий для строительства, методики создания эколого-геологических карт - геологических карт нового типа.

Авторы понимают, что эта пионерная по своему содержанию разработка затрагивает целый ряд новых дискуссионных позиций, не дает в равной степени исчерпывающие ответы на все поставленные вопросы. Однако в ней намечен принципиальный подход к изучению взаимоотношений "неживого и живого" через критериальные оценки в системе "**литосфера-биота**", "**литотехническая система-биота**" (че-

ловечество)”, а также между теоретическими разработками и их практическим использованием при инженерно-экологических изысканиях для строительства, в практике эколого-геологического картографирования.

Несмотря на возможные спорные моменты и недочеты, которые могут встретиться в учебнике, авторы уверены, что он будет полезен не только для студентов геологических и экологических специальностей, но и для специалистов, работающих в этом направлении геологии и смежных с ним областях. Он будет интересен всем тем, кто занимается проблемами окружающей среды.

Авторы признательны своим коллегам Т.А.Барабошкиной, В.А.Богословскому, А.Д.Жигалину, Н.А.Касьяновой, **Н.С.Красиловой**, М.А.Харькиной, Т.В.Андреевой, Л.А.Цукановой и Н.Д.Хачинской, материалы которых использованы в учебнике, за обсуждение его структуры и содержания. Они также считают приятным долгом поблагодарить Н.П.Романову, Н.Д.Хачинскую и Л.А.Цуканову за помощь в подготовке работы к изданию. Они признательны рецензентам академикам РАЕН О.Л.Кузнецову и В.К.Хмелевскому и коллективу кафедры экологической геологии Санкт-Петербургского государственного университета, ее заведующему, профессору В.В.Куриленко за полезные советы, сделанные после знакомства с рукописью настоящего учебника, а также В.Н.Михину - редактору настоящей книги, много сделавшего для ее появления на столе читателя в настоящем виде.

Критические замечания, пожелания и отзывы авторы просят направлять по адресу; г.Москва, **119899**, ГСП, Воробьевы горы, МГУ, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии.

ЧАСТЬ I

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ И ЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

ГЛАВА 1

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ И ЕЕ СТРУКТУРА

1.1. История взглядов на содержание, структуру и задачи экологической геологии

Относительно спокойное сосуществование человека и природы закончилось к началу XVIII в., когда началась промышленная эпоха, обусловившая постоянно возрастающее техногенное воздействие на природную среду. При этом четко обозначились две полярные точки зрения - технофобия, постулирующая неисчерпаемость природных ресурсов и господство человека над природой, и алармизм, пропагандирующий невмешательство в природные процессы. К этому следует добавить, что в соответствии с глобальной моделью развития нашей цивилизации Д.Медоуза и Дж.Ферресбера оба эти подхода являются тупиковыми и приводят к экологической катастрофе. Надо искать другие пути решения сложившейся ситуации.

В истории развития геологии четко обособились три этапа, связанных с решением экологических проблем **человечеством**. *Первый* из них можно назвать созерцательным. Геологи, за исключением, пожалуй, гидрогеологов и инженеров-геологов, считали, что экологические проблемы - это сфера деятельности и изучения исключительно медико-биологических наук. Да и инженеры-геологи занимались этими проблемами опосредованно, решая, главным образом, вопросы геологического обоснования создания и надежного, безаварийного функционирования инженерных сооружений и схем инженерной защиты сооружений, объектов и территорий.

Второй этап (семидесятые - первая половина восьмидесятых годов нашего века) - период признания огромной роли техногенного воздействия на литосферу и биоту и становления представлений *о геологической среде, геологии окружа-*

ющей среды. В этот период представители инженерной геологии, гидрогеологии, геохимии и геокриологии начали разработку теоретических и практических геологических вопросов, направленных на решение проблем *окружающей среды*.

Третий этап начался с широкомасштабного выполнения так называемых "геоэкологических" исследований представителями если не всех, то многих геологических наук. Можно его начало определить так: "все мгновенно осознали роль геологического знания в решении экологических проблем и приступили к реализации этого тезиса". Действительное же осознание содержания этой проблемы пришло позже - в 90-х годах ушедшего столетия.

Оценивая с современных позиций развитие описываемого процесса в геологии, можно констатировать, что в первое время он шел по пути дезинтеграции эколого-геологических исследований. Каждая геологическая наука искала свою экологическую нишу либо на уровне решения частных задач, либо путем выделения своего научного направления: экологической минералогии (Гавриленко, 1993), экологической гидрогеологии (Плотников и др., 1992), экологической геохимии (Иванов, 1994-1997; Янин, 1999), экологической геофизики (Вахромеев, 1995) и т.д. Однако в середине девяностых годов стало ясно, что эти исследования, направленные главным образом на оценку изменения и измененности верхних горизонтов литосферы под влиянием техногенеза, не отвечают в полном объеме содержанию задачи геологического обоснования устойчивого функционирования экосистем. В связи с этим в последние годы из многообразия экологически ориентированных исследований в геологии выделилось новое научное направление - *экологическая геология*.

Становление ее в системе геологических наук насчитывает менее двух десятилетий. Термин *экологическая геология* в специальной литературе впервые был использован Е.А.Козловским, А.И.Жамойдой и В.Б.Кушевым в 1984 г., определившими ее как принципиально новое направление геологических наук, задачей которого является сохранение природной среды на основе специального изучения геологических процессов, связанных с развитием биосферы и техногенного воздействия человека на природу, включая рациональное использование минерально-сырьевых ресурсов, в том числе сохранение их в недрах (особенно энергетического сырья). Затем он был забыт, а точнее подменен терминами *геоэкология* и *охрана геологической среды*, хотя и существенно отличается от них не только по форме, но и по содержанию.

Второй раз этот термин появился в геологической литературе в 1992 г. Н.И.Плотников, А.А.Карцев и И.И.Рогинец под термином *экологическая геология* предложили понимать "комплексную и очень сложную по содержанию науку, охватывающую геологические аспекты (гидрогеологические, инженерно-геологические, геохимические, геокриологические и др.) общей проблемы охраны биосферы и, прежде всего, человека от негативного влияния техногенеза".

В 1994 г. В.Т.Трофимовым и Д.Г.Зилингом было предложено несколько иное определение термина *экологическая геология*. В первой редакции он определялся как новое научное направление в геологии, изучающее верхние горизонты лито-

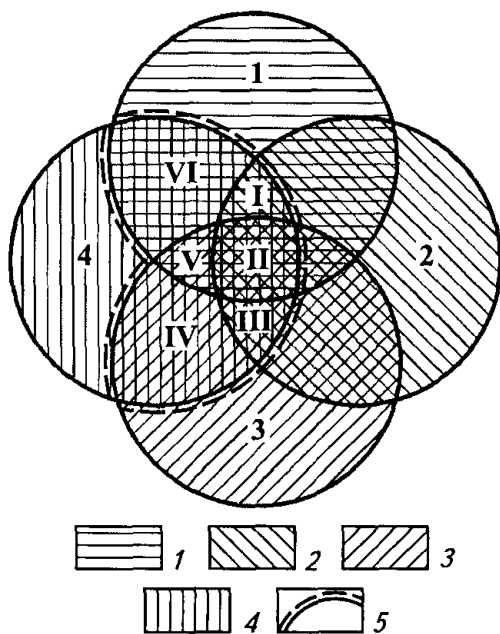


Рис. 1. Соотношение геологических, географических, почвенных и биологических наук, изучающих экосистемы высокого уровня организации, и формируемые ими общие предметные и объектные поля (по В.Т.Трофимову и др., 1994).

Науки: 1 – почвоведение, 2 – геология, 3 – география, 4 – биология, 5 – граница совместных объектных и предметных полей наук о Земле и биологии. Совместные объектные и предметные поля наук о Земле и биологии: (I + II + III) – экологическая геология; (II + III + IV + V) – экологическая география; (I + II + V + VI) – экологическое почвоведение

логии формируется на пересечении предметных полей биологии и геологии (рис. 1). Правоммерно говорить, что с появлением экологической геологии начался новый этап в изучении литосферы науками геологического цикла, принципиально отличающийся по своей ориентации от традиционных – собственно геологического в самом широком его понимании и инженерно-геологического.

1.2. Определение экологической геологии. Объект и предмет экологической геологии

Экологическая геология — новое направление в геологии, изучающее верхние горизонты литосферы (включая подземные воды и газы) как одну из основных абиотических компонент экосистем высокого уровня организации (от биогеоценоза

сферы как абиотическую компоненту природных и антропогенно измененных экосистем высокого уровня организации. В 1997 г. было дано уточненное определение *экологической геологии*, приводимое далее. Следует сказать, что почти одновременно и независимо от них этот термин был предложен в 1995 г. академиком Б.С.Соколовым, который писал, что *экологическая геология* — раздел геологии, который должен отражать защитный характер горно-геологической деятельности на основе разработки новых подходов и понятий. Несмотря на некоторые различия содержания всех этих определений понятия (термина) *экологическая геология*, можно отметить общее – *предметом исследования стали знания о литосфере как среде обитания биоты*.

Экологическая геология зародилась на стыке геологических и биологических наук и изучает воздействие "неживого" в виде компонентов литосферы, в том числе техногенно измененных, на "живое", представленное биотой, включая человека (как биологический вид и социальную структуру). Как следствие предметное поле экологической геологии

до экосферы). В более привычных геологу терминах ее содержание можно определить так: *экологическая геология - новое направление геологических наук, изучающее экологические функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты и прежде всего — человека.* В такой трактовке *экологическая геология* является, с одной стороны, новым научным направлением в геологии, а с другой стороны - составной частью *геоэкологии*, которая также включает в свою структуру экологическое почвоведение и экологическую географию (см. рис. 1).

Во втором определении содержание понятия *экологическая геология* определяется через понятие "экологические функции литосферы". Его содержание подробно раскрывается в разделе 1.4.

Объект исследования экологической геологии —традиционный для наук геологического цикла: *теоретически - это литосфера со всеми ее компонентами*, в прикладном плане - ее приповерхностная часть, расположенная преимущественно в зоне возможного природного и техногенного воздействия. Она исследуется как многокомпонентная динамическая система, включающая породы, подземные воды и газы, и влияющая на существование и развитие биоты, в том числе и человеческого сообщества.

При таком определении объекта экологическая геология исследует системы "литосфера-биота", "техногенно измененная литосфера-биота", либо "литосфера-инженерное сооружение-биота", прямые и обратные связи между абиотическими и биотическими подсистемами, а в конечном счете - чаще всего воздействие "неживого" на "**живое**", хотя, если говорить шире, - взаимодействие литосферы и **живого**.

Все эти названные системы с содержательной точки зрения являются системами эколого-геологическими (термин введен **М.Б.Куриновым***). Главное их отличие - наличие живого и неживого компонентов. Биота как живое живет и функционирует в литосфере или непосредственно на ее поверхности.

С практических позиций нижняя граница этих систем не является стабильной. Для природно-технических эколого-геологических систем она большинством исследователей проводится на глубинах от первых сотен метров до 10-12 км и соответствует глубине проникновения в литосферу техногенного воздействия. Для природной эколого-геологической системы положение нижней границы варьирует в еще большем диапазоне - от глубины залегания грунтовых вод до мантийного уровня, если оцениваются причины **неоднородностей** геофизических полей в ли-

* Под такой системой М.Б.Куринов совместно с Г.А.Голодковской предложили понимать открытую динамическую систему, в которой в качестве подсистемных элементов выступают источник воздействия (техногенный, природный), геологический компонент природной среды и экологическая мишень, тесно связанные прямыми и обратными причинно-следственными связями, обуславливающими ее структурно-функциональное единство (Теория и методология экологической геологии, 1997).

тосфере. Следовательно, в каждом конкретном случае глубина залегания нижней границы системы должна определяться и обосновываться индивидуально, в зависимости от решаемых экологических задач и специфики геологического строения литосферного блока.

С верхней границей объекта исследования вопрос не менее сложный, так как в понятие *геологическая среда*, многие исследователи включают не только породы, но также почвы, поверхностные воды и биоту. Поэтому авторы отказались от употребления термина *геологическая среда*, а перешли на понятия *приповерхностная часть литосферы*, *верхние горизонты литосферы*, исключив из нее поверхностные воды и в целом ряде ситуаций и почвы.

Дело в том, что к педосфере как объекту исследования можно подходить с разных позиций. Если подходить к почве как к минерально-органогенной породе, выполняющей роль первого геохимического барьера на пути миграции техногенных загрязнений или среды развития экзогенных процессов, то она должна входить в объект экологической геологии, а если как к разделяющей геосферной оболочке - аккумулятору и источнику энергии для организмов, и в конечном счете носителю почвенного плодородия, логичнее считать почвы объектом исследования почвоведов. В последней трактовке почвы, как правило, выпадают из объекта исследования экологической геологии или включаются в него только при решении эколого-геохимических и эколого-геодинамических задач. Поверхностные воды, атмосфера с позиций экологической геологии рассматриваются в ранге смежных сред, информация по которым используется при решении функциональных эколого-геологических задач.

Предмет исследования экологической геологии - знания (система данных) об экологических функциях (свойствах) литосферы. При этом рассматриваются функциональные связи в системе "литосфера-биота" или "природно-техническая система-биота".

1.3. Типы задач и систем, исследуемых экологической геологией

Как и большинство геологических наук, экологическая геология исследует, по В.Т.Трофимову и Д.Г.Зилингу (1999) задачи трех типов: морфологические, ретроспективные и прогнозные.

Морфологические задачи - это задачи, связанные с изучением состава, строения и свойств анализируемой системы, ее эколого-геологических условий в целом. Решение задач этого типа позволяет ответить на вопрос: "Что это за система и какие качества ей присущи?", а также получить качественные и количественные показатели, характеризующие современные эколого-геологические условия (обстановки) изучаемого объекта. Именно эти задачи решает специалист в процессе натурных исследований и камеральной обработки материалов.

Следует подчеркнуть, что решение морфологических задач, по существу, проблема диагноза с фиксированным временем. Следовательно, такие задачи рассматриваются как статические, не фиксирующие изменения эколого-геологических условий во времени, или изменения анализируемой системы и взаимоотношений входящих в нее подсистемных элементов. По сути это фиксация современных эколого-геологических условий, их современного состояния на определенную временную дату.

Ретроспективные задачи - задачи, обращенные в **прошлое** и связанные с изучением (точнее, восстановлением) истории формирования объекта исследования, формирования его современного качества. Решение задач этого типа позволяет ответить на вопросы: "Почему объект такой? Каким путем он сформировался?" Классическим примером задач такого типа является исследование истории формирования эколого-геологических условий (обстановок) какой-либо территории, либо литосферного блока (массива). Методика решения ретроспективных эколого-геологических задач основана на общегеологических методах.

Подчеркнем, что решение ретроспективных задач опирается на данные, полученные при исследовании морфометрических задач. Именно эта информация используется при восстановлении последовательности и характера событий во времени (исторические аспекты), и вскрытии причинно-следственных связей (генетические аспекты). Эти задачи решаются в логической временной системе (геологическое время); но заключительные этапы рассматриваются в физическом времени с точкой отсчета от начала эры техногенеза, т.е. начала XVIII столетия.

Прогнозные задачи - задачи, связанные с изучением поведения, тенденций развития исследуемой системы в будущем под воздействием различных причин природного и техногенного происхождения. Решение задач этого типа позволяет ответить на вопрос: "Как будет вести себя объект в будущем при тех или иных воздействиях?" Как и в инженерной геологии, в экологической геологии приходится решать задачи пространственного, временного и пространственно-временного прогноза изменения эколого-геологической системы под влиянием причин естественных (природных), техногенных или их совместного действия. Методика решения прогнозных задач разработана значительно слабее, чем морфологических и ретроспективных.

Ранее уже показано, что экологическая геология исследует эколого-геологические системы. Выделяется **четыре типа этих систем** (Трофимов, Зилинг, 1999):

- природная эколого-геологическая система реальная;
- природная эколого-геологическая система идеальная;
- природно-техническая эколого-геологическая система идеальная;
- природно-техническая эколого-геологическая система реальная.

Природную эколого-геологическую систему реальную геолог исследует при проведении эколого-геологических исследований на неосвоенной территории, в пределах которой техногенно обусловленные изменения эколого-геологической обстановки, строго говоря, отсутствуют. Все работы направлены на получение

данных о составе, состоянии и экологических свойствах литосферы и взаимодействующей с ней биоты.

Изученная эколого-геологическая система первого типа в дальнейшем может быть использована при прогнозных исследованиях, при которых анализируются возможные последствия природных воздействий. В этом случае изучается уже система второго типа - *природная эколого-геологическая идеальная*. При этом рассматривают возможность изменения существующих эколого-геологических условий только под влиянием меняющихся природных воздействий.

Системы первого типа могут использоваться также и при изучении *природно-технической эколого-геологической системы идеальной*, исследуемой в процессе прогнозирования изменения эколого-геологической обстановки под влиянием тех или иных видов техногенных (с учетом возможных природных) воздействий в процессе освоения данной территории.

Природно-техническая эколого-геологическая система реальная исследуется геологом на освоенных территориях и включает в свой состав уже существующие инженерные сооружения, а чаще - целый их комплекс и несет в себе последствия и природных, и, главным образом, техногенных воздействий. На базе изучения таких систем, определяется их современное состояние и разрабатываются, в случае необходимости, методы управления эколого-геологическим состоянием с целью сохранения или улучшения.

1.4. Экологические функции и свойства литосферы

Понятие *экологические функции литосферы* было введено в 1994 г. В.Т.Трофимовым и Д.Г.Зилингом. Его появление не случайно и обусловлено прежде всего тем, что начало изучения взаимодействия между компонентами литосферы и биотой, включая человеческое сообщество, свидетельствует о новом подходе к оценке роли литосферы геологом. Если традиционно, с момента зарождения геологических наук, литосфера исследовалась с позиций поиска полезных ископаемых, а с первой четверти XX в. - и в связи с инженерно-хозяйственной, прежде всего инженерно-строительной деятельностью человека, то в последние годы появилась необходимость оценить литосферу как вещественную и энергетическую основу существования биоты и, в первую очередь, человеческого сообщества. Возникла необходимость рассмотреть в неразрывной связи атрибутивные экологические качества литосферы и их современное состояние с экологическим состоянием биоты и условиями развития человеческого общества. По нашему представлению, теоретической и методической основой такого исследования и **является учение об экологических функциях литосферы**.

С другой стороны, в последнее время все острее ощущается недостаток информации об экологической роли литосферы при рассмотрении экосистем разных уровней организации, включая и экосферу Земли. Так, в публикациях и нормативных материалах, посвященных экологической проблематике, основное внимание

уделяется вопросам загрязнения атмосферы, почв, поверхностных вод, трансформации природных и природно-техногенных ландшафтов. Литосфера в них практически не выделяется и не рассматривается, хотя и служит геологической (литогенной) основой ландшафта, почв, средой обмена веществом и энергией с атмосферой и поверхностной гидросферой, через нее осуществляется круговорот воды в природе. Именно литосфера (ее континентальная часть) служит накопителем пресных вод, входящих в структуру наземной биоты, обеспечивая процессы ее жизнедеятельности. Литосфера - среда сосредоточения природных минеральных ресурсов, необходимых для функционирования и развития человечества как общественной социальной структуры. Сказанное в равной мере касается и техногенно измененной литосферы, и этот вопрос требует особого внимания и рассмотрения. Наступил тот момент, когда к литосфере с экологических позиций уже нельзя относиться только как к литогенной основе для расселения биоты. Пришло время оценить роль литосферы как одного из ведущих факторов в становлении экосистем, обеспечивающих существование жизни на Земле. Поставленная задача требует более детального рассмотрения природных и техногенно обусловленных свойств литосферы, влияющих на функционирование биоты.

Литосфера представляет собой верхнюю твердую оболочку планеты толщиной от 50 до 200 км, имеющую большую прочность и переходящую без определенной резкой границы в нижележащую астеносферу. Она включает в себя земную кору и твердую часть верхней мантии, отделенную от земной коры границей Моховичича (граница Мохо). Сверху литосфера ограничивается гидросферой и атмосферой, частично в нее проникающими.

Литосфера как часть планеты не являет собой нечто "застывшее, раз и навсегда созданное". В литосфере протекают весьма разнообразные геологические процессы, результаты которых в виде подвижек земной коры, извержений вулканов и других явлений можно наблюдать на поверхности планеты. На внутреннюю энергию Земли как на фактор геологической эволюции, играющий весьма важную роль в формировании земной коры, указывал М.В.Ломоносов, далеко по своим научным воззрениям опередивший современную ему эпоху. В своих трудах В.И.Вернадский также неоднократно отмечал, что Земля как планета претерпевает определенную геофизическую и геохимическую эволюцию. При этом, как подчеркивал В.И.Вернадский, эволюция Земли носит не беспорядочный, случайный характер, а, напротив, подчиняется определенным закономерностям.

Доступная наблюдению поверхностная часть литосферы сложена частью твердыми, а частью относительно рыхлыми горными породами. Основными факторами, определяющими физическое состояние горных пород в объеме литосферы, являются температура, количество флюидов и давление. На земной поверхности господствуют "нормальные" условия, что означает пространственные и временные (сезонные) температурные изменения в диапазоне от -50 до $+60^{\circ}\text{C}$ при атмосферном давлении 10^5 Па. Опыт горных работ, данные глубокого бурения и наблюдений за деятельностью горячих источников и активных вулканов показывают, что температура в литосфере повышается с глубиной. При этом возрастают

с глубиной также давление и плотность вещества, что обусловлено действием веса перекрывающих горных пород. Так, на глубине 30 км температура составляет приблизительно 900°C при давлении около $8 \cdot 10^8$ Па.

Неоднородность литосферы есть следствие всей геологической истории нашей планеты, энергетического взаимодействия главных противоположно направленных процессов, которые следует рассматривать как механизм обратной связи, саморегулирования и поступательной эволюции Земли. Расходуемую на геологические и биологические процессы энергию Земля получает в основном от Солнца. Однако и в самой литосфере – в земной коре и в мантии – также существуют источники энергии, к которым следует относить, в первую очередь, реакции распада радиоактивных элементов, протекающих с выделением большого количества тепла.

Непрерывное поступление энергии в литосферу обуславливает неравновесность ее энергетического состояния, что выражается в работе рек, горообразовании, трансгрессии и регрессии морей, землетрясениях и, наконец, в существовании жизни. Указанные процессы поглощают и трансформируют ту избыточную энергию, которая поступает в литосферу как извне, от Солнца и из космоса, так и изнутри, из более глубоких недр планеты. Наряду с энергией (в основном тепловой) литосфера поглощает большое количество вещества в виде газов, паров, жидкой магмы из мантии, метеоритов из космического пространства. С другой стороны, земная кора отдает свое вещество и энергию в космос и мантию. Непрерывно протекающий массо- и энергообмен литосферы с гидросферой, атмосферой, космическим пространством и с внутренними глубинными сферами Земли, таким образом, является тем механизмом, который лежит в основе всех наблюдаемых в литосфере и на ее поверхности геологических и биологических процессов. Взаимоотношение последних представляет собой своеобразную реализацию экологических функций литосферы. В таком контексте литосфера предстает как один из источников энергии, дополнительный к солнечной радиации и космическому излучению, как ее преобразователь, накопитель, поглотитель и как передающая среда. Значительная часть этой энергии тратится на поддержание геологических процессов, а также на создание условий, пригодных для жизнедеятельности представителей растительного и животного мира, населяющих нашу планету. Эти качества литосферы проистекают из особенностей ее строения, состояния и происходящих внутри нее и на ее поверхности геологических процессов и реализуются через ее экологические функции.

Что же конкретно следует понимать под экологическими функциями литосферы? Каково их многообразие? Есть ли подходы к оценке их влияния на биоту?

С позиций экологической геологии экологические функции литосферы в планетарном плане в общем виде следует определить как роль и значение литосферы в жизнеобеспечении и эволюции биоты. Конкретизируя, дадим следующее определение этого понятия: *под экологическими функциями литосферы понимается все многообразие функций, определяющих и отражающих роль и значение литосферы, включая подземные воды, нефть, газы, геофизические поля и протекающие в ней геологические процессы, в жизнеобеспечении биоты и, главным обра-*

зом, человеческого сообщества. Приоритетное выделение в экосистеме человеческой популяции обусловлено ее активным воздействием на среду обитания, причем на глубины, значительно превышающие влияние остальной биоты. В таком качестве литосфера не изучалась и не изучается в рамках традиционной биоэкологии, биогеографии и экологического почвоведения.

Научная концепция экологических функций литосферы объединяет в единый круг рассматриваемых

проблем многоплановое изучение роли литосферы как среды существования органической жизни - простейших ее форм, растительного и животного мира и человеческой популяции. Основное с экологических позиций "предназначение" - ресурсное и энергетическое жизнеобеспечение биоты - реализуется через ресурсную, геодинамическую, геофизическую и геохимическую функции (рис. 2). Социально-экономические, нравственные, эстетические аспекты функциональных взаимодействий человека и природы авторы оставляют за рамками рассмотрения, так как они выходят за пределы профессиональных геологических знаний и, как нам представляется, составляют сферу интересов социальной экологии.

Итак, все многообразие функциональных зависимостей между природной и техногенно преобразованной литосферой и биотой как биологическим видом, так и общественной социальной структурой (человеческое сообщество) сводится к четырем экологическим функциям - ресурсной, геодинамической, геофизической и геохимической. Определим их содержание:

ресурсная экологическая функция литосферы определяет роль минеральных, органических и органоминеральных ресурсов и геологического пространства литосферы для жизни и деятельности биоты как в качестве биогеоценоза, так и социальной структуры;

геодинамическая экологическая функция литосферы отражает свойства литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные процессы и явления;

геохимическая экологическая функция литосферы отражает свойства геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты в целом, включая человека, в частности;

геофизическая экологическая функция литосферы отражает свойства геофизических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты, включая человека.

Следует отметить, что до 1998 г. геофизическая и геохимическая функции рассматривались нами как единая геофизико-геохимическая функция, которая имела



Рис. 2. Назначение и виды экологических функций литосферы

четкую медико-санитарную направленность. Однако более углубленная проработка этого вопроса показала, что природа этих функций различна. Геофизическая функция связана с природными и техногенными геофизическими полями и их специфическим воздействием на биоту, а геохимическая - с вещественным составом литосферы и его геохимическими полями и аномалиями химической природы. При этом у обеих функций сохранилась медико-санитарная ориентация оценки их воздействия на живые организмы.

Следует учитывать, что экологические функции литосферы и их современная выраженность обусловлены эволюционным развитием Земли под воздействием природных и техногенных факторов. На фоне эволюции природных сред в геологической истории Земли с рассматриваемых позиций (тенденции в развитии экологических функций литосферы), можно выделить два основных временных этапа. Первый этап - сугубо природный, охватывает временной период от зарождения жизни на Земле (около 3,5 млрд лет назад) до появления человеческой цивилизации и второй этап –природно-техногенный, охватывающий временной интервал порядка 200 лет и являющийся, главным образом, порождением техногенеза.

Ресурсы литосферы на первом из этих этапов характеризовались накопительной тенденцией, сделавшей возможным не только эволюционное развитие органического мира, но и создавшей материальный базис для появления человеческой цивилизации. Это период накопления минеральных ресурсов литосферы, ее топливно-энергетического потенциала. Со вторым, природно-техногенным этапом развития связано коренное изменение сущности ресурсной функции. Период накопления многих ресурсов сменился периодом интенсивного и прогрессирующего их потребления, включая и ресурсы невозобновляемые. В настоящее время мировое сообщество уже ставит вопрос о приближении периода их полной сработки. Сказанное в равной мере касается и дефицита геологического пространства, наиболее ощутимого в малых по площади странах с большой численностью населения.

Геодинамическая функция литосферы более сжата в геологическом времени по сравнению с ресурсной и в качестве таковой рассматривается нами с момента альпийского орогенеза и, особенно, новейшего этапа его проявления, когда сформировался современный рельеф планеты, а в голоцене —и основные черты ее ландшафтно-климатической зональности. Более ранний период, когда этапы активизации геологических процессов сменялись этапами относительного покоя, не имеет четкого выражения в закономерностях пространственного развития современных геологических процессов. За рамками рассмотрения оставляется и оценка влияния прошлых геологических процессов на органический мир. И хотя сам факт такого влияния сомнений не вызывает, значимость этого фактора разными учеными трактуется далеко не однозначно и до сих пор остается предметом острых дискуссий. Это касается и крупномасштабных, и глобальных катастроф. Их связывают как с земными, так и космическими причинами: по мнению ряда исследователей, в событиях массовых вымираний и в прошлом основную роль играли экологические процессы, связанные с появлением новых групп организмов и развалом ранее существовавших биоценозов. С учетом сказанного и надо подходить к оценке роли

геодинамической функции литосферы в развитии экосистем. Она реализуется через проявление опасных и катастрофических геологических процессов (вулканизм, землетрясения, сели, лавины и др.) и геодинамических зон, влияющих на биоту.

На втором, природно-техногенном этапе развития важная роль в становлении геодинамической функции переходит к техногенному воздействию, с которым связана не только интенсификация деструктивных процессов, но и их динамика. Можно уверенно говорить о резком возрастании роли геодинамической функции литосферы на современном этапе развития и о принципиально новом, более интенсивном уровне ее влияния на биоту и комфортность существования человека. Одновременно следует учитывать, что техногенез не только вызывает к жизни новые негативные процессы или активизирует природные, но в ряде случаев позволяет снижать их активность и осуществлять локализацию. Последнее можно рассматривать как отличительную, специфическую черту геодинамической функции, открывающую возможность управления экзогенными геологическими процессами с помощью мер инженерной защиты объектов, сооружений и территорий.

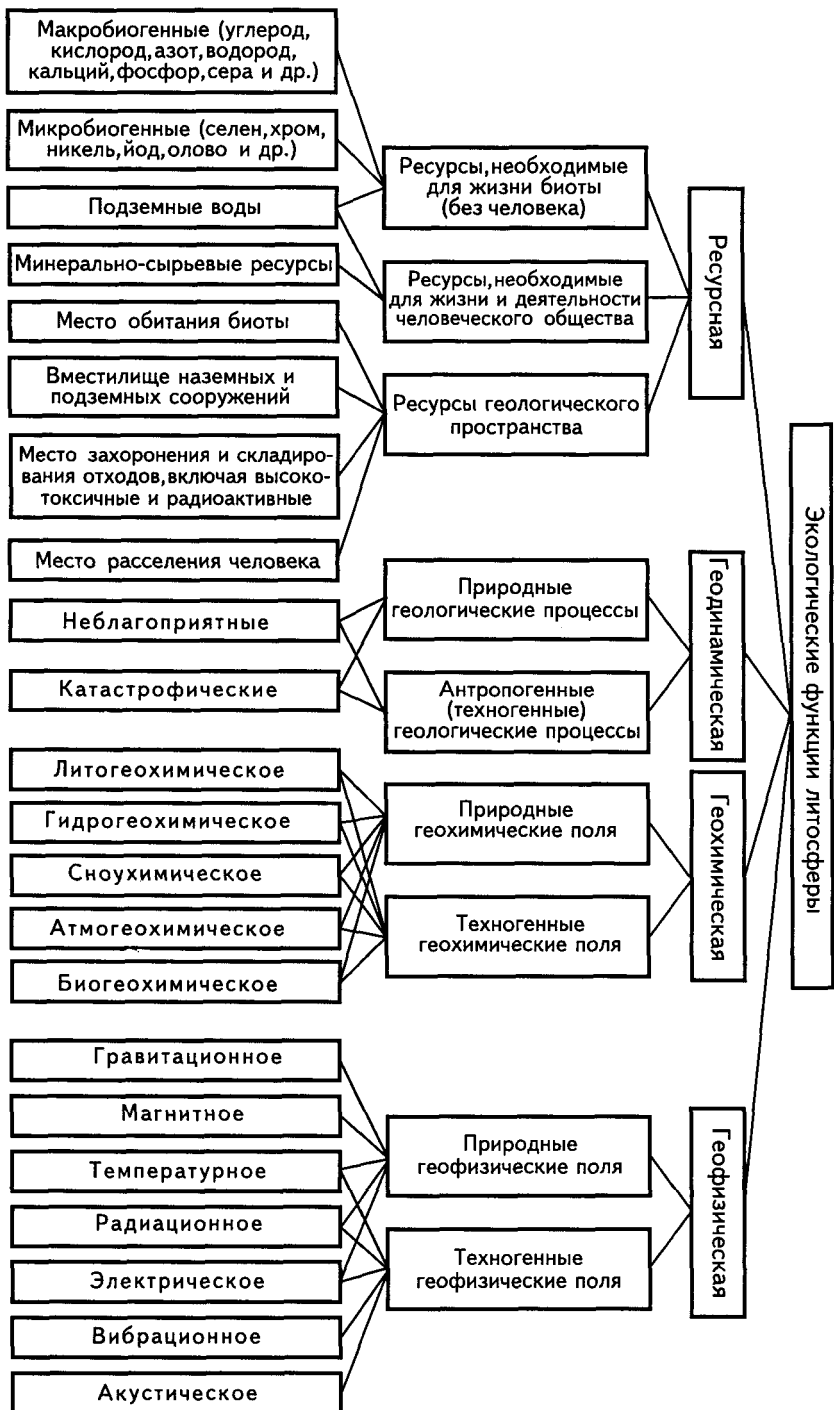
Геофизическая и геохимическая функции литосферы как продукт эволюции Земли занимают свою экологическую нишу. Первый этап их становления охватывает весь период развития Земли до начала техногенеза и является временем формирования подавляющей части аномалий геохимических и геофизических полей, включая геопатогенные. Динамика и масштабы этого процесса тесно связаны с этапами эволюции Земли и определялись только природными факторами.

На втором - природно-техногенном этапе развития эти функции получили четкую техногенную обусловленность и часто являются ведущими при оценке современного состояния экосистем. На урбанизированных территориях, в промышленных и горно-добывающих районах, в зонах интенсивного земледелия именно они стали во многом определять комфортность существования, а часто и медико-санитарные условия жизни человека. По сути такое качество рассматриваемые функции приобрели только в эпоху техногенеза, когда стали формироваться техногенные геохимические и физические аномалии. По площади распространения и глубине воздействия на биоту, включая человека, они значительно опаснее многих природных аномалий. Наглядным примером является так называемый "Чернобыльский след", охвативший часть территории трех государств - России, Украины и Белоруссии.

Таковы особенности и главные черты экологических функций литосферы как продукта геологической эволюции Земли с учетом техногенеза. Представляется, что предложенное понимание с историко-генетических позиций сущности и обусловленности экологических функций литосферы не только раскрывает их роль в развитии биоты, но и может быть теоретическим базисом при переходе к разработке проблемы управления этими функциями.

Общая систематика экологических функций литосферы и составляющих их категорий приведена на рис. 3. Рассмотрению содержания каждой из них посвящены главы 5-8.

Рис. 3. Систематика экологических функций литосферы (по В.Г.Трофимову и Д.Г.Эпингу)



Материальным носителем проявления экологических функций литосферы, который можно измерить и отразить на картографических моделях являются экологические свойства литосферы.

Определим содержание этого понятия следующим образом: *экологическое свойство литосферы — одна из сторон литосферы, ее специфический, экологически значимый атрибут, обусловленный природой ее вещественного состава, геодинамических, геохимических и геофизических полей и органически связанный с жизнеобеспечением биоты, условиями ее существования и эволюции.*

Экологические свойства литосферы следует рассматривать как результат ее эволюционного развития и техногенного преобразования, с которым связано существование биоты и ее дальнейшее функционирование. Это экологическая составляющая (грань) литосферы, изучаемая экологической геологией.

Для лучшего понимания сущности экологических свойств литосферы назовем некоторые из них применительно к ресурсной, геодинамической, геохимической и геофизической экологическим функциям литосферы. Эта информация приведена в табл. 1. Она не претендует на полноту перечисления всех свойств, но позволяет понять, что из себя представляют экологические свойства литосферы, и показывает один из возможных подходов к их выделению. Анализ содержания этой таблицы позволяет утверждать, что экологические функции литосферы являются конкретным, реально осязаемым проявлением (выражением) ее экологических свойств.

Завершая рассмотрение общих представлений об экологических функциях и свойствах литосферы, проиллюстрируем сказанное на конкретном примере. В качестве такового можно привести экологически ориентированное изучение зоны аэрации, выполненное в середине 90-х годов сотрудниками СНИИГГиМС под руководством Н.А.Лизалека. Эти исследования были направлены на изучение обменных и водно-растворимых комплексов минеральной среды зоны аэрации и водообмена, т.е. всей зоны минерального питания растений. Характернейшей чертой этой зоны являются биохимические реакции, в результате которых обеспечивается подготовка минеральной пищи растений.

По сути - это зарождение нового подхода к изучению литосферы геологами как основы развития биоты (в данном случае растений), что органически вписывается в представления об экологических свойствах литосферы. В приведенном примере комплекс горных пород рассматривался как основа минерального питания растений (минеральная ресурсная составляющая), подготавливаемая биохимическими реакциями (энергетическая составляющая) с формированием обменных водно-растворимых комплексов (гидрогеохимическая составляющая) единой системы "литосфера (зона аэрации) → грунтовые воды → почва → биота". В целом эта система выступает как "депо" минеральных ресурсов для растений.

Рассматривая эту проблему с более общих позиций, следует сделать вывод, что познание механизма взаимодействия живого и косного вещества возможно только на основе целенаправленного экологически ориентированного изучения литосферы и биохимии живого вещества. Именно это положение и реализует представления об экологических функциях литосферы.

Экологические функции и свойства литосферы

Экологическая функция литосферы	Экологические свойства литосферы
Ресурсная	<ol style="list-style-type: none"> 1. Состав и содержание минеральных, органических, органоминеральных ресурсов, необходимых для человеческого сообщества 2. Состав и содержание элементов биофильного ряда, необходимых для биоты 3. Способность литосферы к созданию возобновляемых запасов подземных вод, используемых биотой и человеком 4. Пространственная (площадная и объемная) емкость геологического пространства, обеспечивающая расселение и существование живых организмов и развитие человеческой цивилизации 5. Качество территориального ресурса применительно к разным видам его освоения и обживания, обусловленное вещественными и энергетическими параметрами литосферы
Геодинамическая	<ol style="list-style-type: none"> 1. Пространственно-временная неоднородность проявления геологических процессов, влияющих на комфортность проживания человека и условия жизнедеятельности биоты 2. Каскадность проявления геологических процессов, усиливающих экологическое воздействие на живые организмы и человека 3. Циклическое развитие катастрофических геологических процессов, влияющих на безопасность проживания живых организмов 4. Наличие геодинамических зон с газовой разгрузкой глубинных слоев Земли, повышенной флюидной и тектонической активностью, влияющих на иммунную систему человека и активизацию мутагенных проявлений у живых организмов 5. Циклическая пространственно-временная нестабильность напряженного состояния литосферных блоков (геодинамических аномалий) повышенной экологической опасности 6. Способность литосферы к возврату в состояние динамического равновесия, из которого она была выведена действием природных или антропогенных факторов
Геохимическая	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие геохимических неоднородностей, влияющих на живые организмы и человека 2. Концентрационное свойство литосферы, выражающееся в аккумуляции химических элементов и соединений, необходимых для обменных процессов в живых организмах и влияющих на создание геохимических неоднородностей 3. Миграционные свойства вещества литосферы, определяющие способность в процессе аэральной, аквальной и биологической миграции попадать в растения, в организм человека и животных 4. Рассеивающее свойство литосферы, определяющее способность ее компонентов к самоочищению
Геофизическая	<ol style="list-style-type: none"> 1. Наличие пространственно-временной неоднородности геофизических полей, влияющих на биоту 2. Проявление аномальных и патогенных зон по интенсивности проявления геофизических полей 3. Способность литосферы к саморегуляции напряженного состояния и интенсивности проявления геофизических полей 4. Способность литосферы к аккумуляции и преобразованию энергетических потоков космического и глубинного внутриземного происхождения

1.5. Эколого-геологические условия и их состояние

Рассматриваемые понятия являются логическим развитием представлений об экологических функциях литосферы. Они позволяют перейти от изучения и анализа взаимосвязей и зависимостей в системе "литосфера-биота" к оценке конкретных материальных носителей этой информации.

Под эколого-геологическими условиями (обстановкой) следует понимать совокупность конкретных экологических свойств (функций) литосферы, отражающих современное или палеосостояние условий жизнедеятельности живых организмов в данном объеме литосферы как среде их обитания. Эта обстановка может изменяться как от места к месту, так и во времени в пределах одного массива, одного района. В последнем случае эколого-геологическая обстановка как бы проходит ряд своих состояний, трансформируясь во времени от одного из них к другому. В условиях техногенеза и вследствие развития природных катастрофических процессов такие изменения происходят очень быстро, нередко практически мгновенно, даже с исторической точки зрения.

Следует подчеркнуть, что в формировании эколого-геологических условий ведущая роль может принадлежать как всем экологическим функциям, действующим одновременно, так и, по существу, какой-либо одной функции, например, геодинамической, которая в данный период по своей интенсивности или масштабу оказывает наибольшее воздействие на биоту и как бы подавляет роль других функций. В последнем случае следует говорить об *эколого-геологических условиях, особенности которых обусловлены геодинамическими характеристиками литосферы.* Если таковой является геохимическая функция, то оперируем словосочетанием *эколого-геологические условия, особенности которых обусловлены геохимическими особенностями литосферного блока.*

В геологической литературе также используются понятия *эколого-геодинамические условия, эколого-геохимические условия, эколого-геофизические условия.* С нашей точки зрения, это сокращенный вариант словосочетаний, выделенных в предыдущем абзаце. Кроме того, их, скорее всего, правомерно использовать и в случае, когда мы анализируем влияние только какой-либо одной экологической функции литосферы на биоту или человека.

Изменения эколого-геологических условий могут происходить, как уже отмечалось, достаточно быстро. Этапные особенности рассматриваемого объекта - эколого-геологической системы следует называть *состоянием эколого-геологической обстановки (условий),* нередко называемое геологами *экологическим состоянием литосферы.* Содержание этого понятия определим так: *состояние эколого-геологической обстановки (условий) - временное ее состояние, оцениваемое спецификой проявления одного, нескольких или совокупностью экологических свойств (функций) литосферы в данный момент времени, определяющих степень (уровень) благоприятности и возможности проживания живых организмов.*

Состояние эколого-геологической обстановки оценивается через временное состояние определенных свойств литосферы и характеризует уровень воздействия

этих свойств на живые организмы. Согласно этому определению, оценка экологического состояния литосферы должна включать, с одной стороны, определение уровня ресурсного и энергетического воздействий на живые организмы со стороны литосферы и, с другой стороны, указание на специфические реакции на это воздействие живой материи. Этот критерий пригоден для живых организмов всех уровней организации экосистемы.

Состояние эколого-геологических условий (обстановки) может быть обусловлено, как указано ранее, проявлением одного, нескольких или совокупностью свойств и функций литосферы. Если наиболее сильно действуют на биоту особенности, например, геофизической функции, то приходится говорить *о состоянии эколого-геологических условий, обусловленных проявлением геофизической функции (свойств)*. Часто геологи используют для обозначения этого более короткое словосочетание: *эколого-геофизическое состояние литосферы*. В этом же смысле используются и такие понятия, как *эколого-ресурсное состояние литосферы, эколого-геодинамическое состояние литосферы, эколого-геохимическое состояние литосферы*.

Таким образом, состояние эколого-геологических условий, определяемое для конкретной территории или литосферного блока, отражается на индивидуальной фактологической оценке и обеспечивается четкой временной привязкой или временным интервалом - *современное состояние, состояние на конкретную дату*. Подчеркнем в дополнение еще одну позицию: оба введенных понятия - эколого-геологические условия и состояние эколого-геологических условий являются материальным атрибутом объекта изучения, и характеризующие их параметры можно измерять, оценивать, классифицировать и моделировать, что обеспечивает не только решение теоретических эколого-геологических проблем, но и практических задач.

1.6. Логическая структура экологической геологии

Центральной проблемой любого естественно-научного знания является вопрос о логической структуре науки, включающей в себя основания науки, основные понятия, теории и идеи, законы. Исходя из представления о том, что экологическая геология является научным направлением в геологии, а не отдельной (частной) геологической наукой, ее логическая структура должна формироваться как за счет ассимиляции определенных элементов логической структуры частных геологических наук, привлекаемых для решения экологических задач, так и своей собственной логической основы. При этом ассимиляция носит не механический характер, а подчинена вполне определенным закономерностям, логике экологического подхода. Следовательно, общее поле логической структуры экологической геологии включает в себя определенные по объему части поля логической структуры различных геологических наук и свою "собственную часть логической осно-

вы, тот стержень, который позволяет целенаправленно использовать привлекаемые теории, идеи и законы отдельных геологических наук.

В схематическом виде такая трактовка вопроса отражена на рис. 4. Он свидетельствует о мозаичности поля логической структуры экологической геологии и дает представление о геологических науках, принимающих участие в обосновании решения экологических задач, а также о вкладе этих наук в логическую структуру экологической геологии. Нетрудно заметить, что наибольший объем информации и методов исследования для экологической геологии "поставляют" инженерная геология, геокриология, гидрогеология, геохимия, геофизика и геология полезных ископаемых. Остальные науки геологического цикла и их логические структуры играют меньшую роль.

Принятое в данной работе понимание экологических функций литосферы позволяет к важнейшим элементам собственной части логической структуры экологической геологии отнести следующие позиции:

положение о том, что структура, свойства и пространственные закономерности в строении приповерхностной части литосферы и ее экологические функции есть результат историко-геологического развития во взаимодействии с внешними природными средами и техносферой;

положение о том, что динамика (скорость, характер движения) литосферы, ее компонентов и изменение экологических функций обусловлены их природными свойствами, видом и интенсивностью взаимодействия с внешними, в том числе техногенными, средами;

закон соответствия при взаимодействии организмов с окружающей средой;

закон соответствия характера развития общества и состояния природной среды (основной экологический закон).

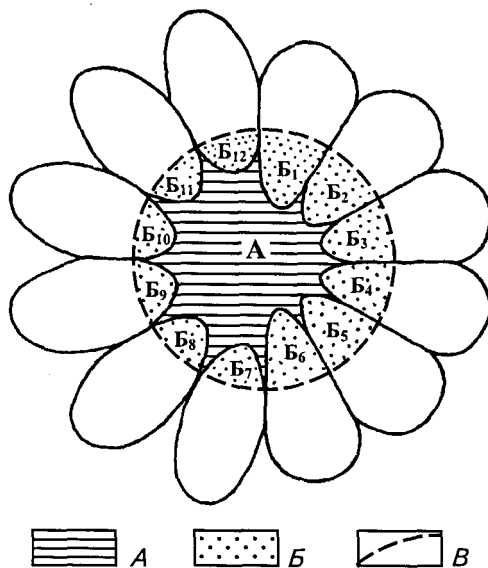


Рис. 4. Принципиальная схема строения общего поля логической структуры экологической геологии

А – "собственная часть" логической основы логической структуры экологической геологии; Б – части логической структуры геологических наук, используемые экологической геологией: Б₁ – инженерная геология, Б₂ – геокриология, Б₃ – гидрогеология, Б₄ – геохимия, Б₅ – геофизика, Б₆ – геология полезных ископаемых, Б₇ – неотектоника, Б₈ – сейсмоструктурная геология, Б₉ – геоморфология, Б₁₀ – историческая геология и палеонтология, Б₁₁ – петрология и литология, Б₁₂ – минералогия; В – контуры общего поля логической структуры экологической геологии

Именно эти положения формируют экологический стержень, объединяющий научные основания других наук геологического цикла, и составляют собственную часть логической основы экологической геологии.

Еще одной основополагающей проблемой любого естественно-научного знания является вопрос об уровнях организации и таксономии объектов. Для экологической геологии можно принять следующие уровни организации литосферы:

элементарный, включающий геофизический (физические поля и частицы), атомно-молекулярный (элементы, соединения), минералогическо-петрографический (минералы, горные породы);

локальный геологический (массивы горных пород, стратиграфо-генетические комплексы горных пород);

региональный (геологические формации, структурные этажи, региональные геосистемы);

планетарный (геооболочки).

В общем виде такая структуризация литосферы достаточно хорошо коррелируется с иерархией природно-технических систем, предложенных Г.К.Бондариком.

Нетрудно заметить, что каждый из выделенных таксономических уровней организации литосферы изучается определенным комплексом геологических дисциплин, каждая из которых опирается на свои теории и идеи. Так, для планетарного уровня, главным образом, используются научные основания тектоники, структурной геологии, геофизики и региональной геологии, для локального уровня - инженерной геологии, гидрогеологии, литологии, геохимии и геофизики, для элементарного уровня - геохимии, инженерной геологии, для исследования физических полей - только геофизики.

Роль и место различных наук геологического цикла в формировании логической структуры экологической геологии наиболее объективно можно раскрыть через эту взаимосвязь путем рассмотрения экологических функций приповерхностной части литосферы с учетом уровней ее организации. Для наглядности это отражено в форме двухрядной матрицы (табл. 2), по горизонтальной оси которой приведены уровни организации литосферы, а по вертикальной оси - экологические функции литосферы, на пересечении этих рядов перечислены науки геологического цикла, формирующие теоретический базис экологической геологии.

Как следует из таблицы, ресурсная экологическая функция литосферы изучается преимущественно методами геологии полезных ископаемых и гидрогеологии. Причем это относится только к планетарному уровню организации литосферы. На региональном уровне к ним подключаются инженерная геология и геокриология. На локальном уровне приоритет переходит к минералогии, петрографии и гидрогеологии, инженерной геологии и криолитологии.

При изучении геодинамической экологической функции литосферы на всех уровнях ее организации доминируют инженерная геология, геокриология, геохимия, геофизика, геология полезных ископаемых. Остальные науки геологического цикла играют несколько меньшую роль. При изучении геофизической и геохими-

**Роль наук геологического цикла в изучении экологических функций
разных уровней организации литосферы**

Экологическая функция литосферы	Уровнь организации литосферы			
	Планетарный	Региональный	Локальный	Элементарный
Ресурсная	Геология полезных ископаемых, гидрогеология	Геология полезных ископаемых, гидрогеология, инженерная геология, геокриология, геохимия	Геохимия, минералогия, петрология, литология, геология полезных ископаемых, гидрогеология, инженерная геология, геокриология	
Геодинамическая	Инженерная геология, геокриология, геотектоника, сейсмотектоника, геоморфология	Инженерная геология, геокриология, геотектоника, сейсмотектоника, геоморфология, геофизика, гидрогеология, историческая геология	Инженерная геология, геокриология, гидрогеология, геоморфология, историческая геология	Инженерная геология, геокриология
Геохимическая	Геохимия, геотектоника	Геохимия, гидрогеология	Геохимия, гидрогеология	Геохимия, инженерная геология
Геофизическая	Геофизика, геотектоника	Геофизика, геотектоника	Геофизика, геотектоника	Геофизика

ческой функций литосферы доминируют геохимия, гидрогеология и геофизика. Это принципиальная схема на уровне геологических наук (без детализации их по научным направлениям), дающая общее представление по рассматриваемому вопросу.

1.7. Структура экологической геологии как науки

В составе экологической геологии нами выделяется несколько научных разделов, ответственных за изучение определенных экологических функций литосферы. Таковыми являются экологическое ресурсоведение, экологическая геодинамика, экологическая геохимия и экологическая геофизика (рис. 5).

Экологическое ресурсоведение исследует весь спектр морфологических, ретроспективных и прогнозных вопросов и проблем, связанных с обеспечением биоты и, в первую очередь, человеческого сообщества минерально-сырьевыми ресурсами литосферы и ресурсами геологического пространства с позиций использования его для нужд человечества в эпоху активного техногенеза. Акцент в исследовании

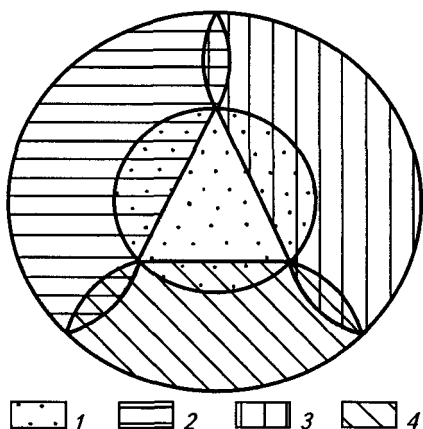


Рис. 5. Научные разделы экологической геологии и их соотношение

1 – экологическое ресурсоведение; 2 – экологическая геодинамика; 3 – экологическая геохимия; 4 – экологическая геофизика

ресурсы геологического пространства). Кроме того, эти исследования должны быть социально ориентированы, что подразумевает их тесную связь с социально-экономическими науками, а в практическом отношении – деловой контакт экологов-геологов с экономистами, социологами, представителями директивных органов и проектных институтов. К основным задачам этого раздела можно отнести оценку состояния минерально-сырьевых ресурсов с учетом развития современной цивилизации и геологическое обоснование предложений по регламентации их потребления.

Экологическая геодинамика исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением воздействия природных и антропогенных геологических процессов на биоту как с позиций оценки возможных катастроф, так и комфортности ее проживания. Последнее относится, как правило, к человеческому сообществу. Выполняемые исследования опираются на методы инженерной геологии, геокриологии, гидрогеологии и геотектоники и предусматривают контакт с проектировщиками. К основным задачам относятся: разработка методов оценки устойчивости приповерхностной части литосферы к изменению ее геодинамических параметров под влиянием природных факторов и техногенеза с учетом экологических последствий; эколого-геологическое обоснование инженерной защиты от опасных и катастрофических геологических процессов (природных и антропогенных), влияющих на существование и комфортность проживания биоты и человеческого сообщества.

Экологическая геохимия исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением геохимических полей и геопатогенных аномалий (неоднородностей земной коры) природного и техногенного происхожде-

ях делается не на поиски и подсчет запасов полезных ископаемых, а на оценку их соответствия современному уровню потребления и рационального использования с учетом экологических последствий. По существу должен решаться вопрос о регламентации потребления минерально-сырьевых ресурсов литосферы с учетом сохранения и нормального функционирования экосистем высокого уровня организации. С экологических позиций оцениваются и ресурсы геологического пространства. Для выполнения этих исследований должны привлекаться методы ряда геологических наук: геологии полезных ископаемых, гидрогеологии (минеральные сырьевые ресурсы), инженерной геологии и геокриологии (ре-

ния на биоту. Среди этих полей выделяются литогеохимические, гидрогеохимические, сноугеохимические, биогеохимические и атмогеохимические. Объектом исследований является вещественный (минеральный) состав литосферы, миграция подвижных соединений химических элементов, их аномальных концентраций и характер воздействия на биоту с использованием методов геохимии, минералогии, петрографии, гидрогеологии и данных медико-биологических оценок состояния биоты. В практическом аспекте такие исследования подразумевают тесное сотрудничество экологов-геологов с медиками и санитарной службой, так как оценка аномалий должна проводиться с медико-санитарных позиций.

Экологическая геофизика исследует морфологические, ретроспективные и прогнозные задачи, связанные с изучением геофизических полей природного и техногенного происхождения, их отклонением от нормы и воздействием на биоту. Для этого привлекаются методы геофизики, геотектоники, сейсмотектоники и данные медико-биологических дисциплин. Здесь также необходимо тесное сотрудничество с представителями медико-санитарной службы.

Таким образом, экологическая геология и ее научные разделы тесно связаны с проблемой геологического обеспечения устойчивого функционирования экосистем, включая человеческое сообщество. При этом они опираются на теории и методы многих геологических наук, таких как инженерная геология, геокриология, гидрогеология, геохимия, геофизика и геология полезных ископаемых. Остальные науки геологического цикла - геотектоника, петрография, минералогия и другие - играют несколько меньшую роль, и их теории и методы привлекаются с учетом характера решаемой эколого-геологической проблемы. Кроме того, эколого-геологические исследования предусматривают широкое использование информации медико-биологического и социально-экономического характера.

Литература

Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. - Иркутск: Улисс, 1995. - 212 с.

Гавриленко В.В. Экологическая минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых. - СПб: СПбГГИ, 1993. - 158 с.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 1-6. - М.: Недра, 1994-1997. - 304 с, 301 с, 351 с, 407 с, 575 с, 607 с.

Плотников И.И., Карцев А.А., Рогинец И.И. Научно-методологические основы экологической гидрогеологии. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. - 60 с.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

Трофимов В. Т., Зилинг Д.Г. Инженерная геология и экологическая геология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. - 120 с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432 с.

Янин Е.П. Введение в экологическую геохимию. - М., 1999. - 67 с.

ГЛАВА 2

НАУЧНЫЙ МЕТОД ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ЕЕ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ

2.1. Научный метод экологической геологии

Научный метод экологической геологии включает в себя общие, специальные и частные методы познания, объединенные в единую систему, подчиненную решению эколого-геологических задач. В таком качестве он обеспечивает свое предназначение, включая в себя методы не только геологических, но и сопредельных естественных и медицинских наук. Этим обеспечивается информационное пространство экологической геологии. Важно подчеркнуть, что наряду со специальными частными методами познания научный метод экологической геологии включает в себя специальные методы, присущие только экологической геологии. Такая сложная структура научного метода экологической геологии отражена в табл. 3, дающей представление о всей сумме ассимилированных методов познания.

При рассмотрении теории и методологии экологической геологии (1997) показано, что процесс познания в экологической геологии имеет иерархический характер. Основные теоретические предпосылки формируются всеобщими методами познания; частные методы отдельных наук обеспечивают информационное пространство, включающее характеристики основных элементов эколого-геологической системы и их причинно-следственные связи. Специальные методы экологической геологии позволяют сформировать знания об объекте исследований, принципах управления и контроля за его состоянием. Эти методы используются практически на всех структурных уровнях и являются способами получения точного знания.

В качестве общих методов, составляющих основу системы познания, в экологической геологии рассматриваются два основных метода (см. табл. 3). Метод материалистической диалектики является общей философской основой, способствующей наиболее полному и всестороннему отражению в научном знании объективных свойств и причинно-следственных связей изучаемого объекта. В рамках материалистического познания окружающего мира выделяются два уровня научного познания: эмпирический и теоретический, которые неразделимы. Без наличия эмпирического материала невозможно сформировать теорию, а без надежной теории нельзя разработать новые приемы и правила (метод науки) познания материального объекта. Эта диалектическая связь является важнейшей чертой метода материалистической диалектики, используемого при познании такого сложного объекта, как эколого-геологическая система.

Использование системного анализа позволяет рассматривать весьма сложный объект в качестве единой системы, оценить, осуществить прогноз эколого-геоло-

гического состояния в пространстве и во времени, разработать программу управляющих решений. Эколого-геологические исследования выходят за рамки традиционных геологических работ и включают информацию по биологии и медицине. Связать воедино весь спектр этих научных направлений возможно, лишь используя аппарат системного анализа. Он позволяет проанализировать всю гамму причинно-следственных связей, формирующих структуру эколого-геологической системы и разработать программу взаимозаменяющих исследований специальными методами отдельных наук (геологии, географии, медицины, биологии, экономики, социологии и т.д.).

30

По отношению к конкретной науке - геологии - в качестве общенаучного метода следует рассматривать сравнительно-геологический, являющийся методом познания геологической формы движения материи. Этот метод позволяет объяснить с исторических и генетических позиций, как сформировались те или иные особенности структуры и свойства геологических объектов. Изучение этих особенностей и позволяет сформулировать научные основы для всестороннего изучения геологических объектов специальными методами конкретных наук геологического цикла.

Для оценки и прогноза состояния эколого-геологической системы принятия управляющих решений необходим большой объем разнородной информации, которая не может быть получена методами одной геологической науки. Вполне естественно использовать методическую базу сопредельных наук - биологии, географии, медицины, почвоведения, социологии, экономики. Но стержнем, вокруг которого формируется информационная система, является геология, так как в эколого-геологической системе центральное место аккумулятора, трансформатора воздействия занимает геологический компонент природной среды, и его состояние определяет экологические последствия, через управление его состоянием мы можем добиваться тех или иных экологических эффектов. Специалист эколог-геолог физически не может владеть обширным методическим аппаратом не только сопредельных наук, но и всеми методами базовой науки - геологии. Задача специалиста в области экологической геологии распадается в этом случае на две части. В области сопредельных наук он должен осуществить заказ на информацию, а выбор использования необходимого комплекса методов для её получения ложится на специалистов конкретных наук - биологии, медицины, почвоведения, социологии, экономики (контакт в этом случае может быть наиболее успешным со специалистами экологического направления в той или иной науке). В области же геологии - базовой науки экологической геологии - комплекс методов, необходимых для получения информации о состоянии геологического компонента природной среды может определяться самим экологом-геологом.

Использование методов медицинских и биологических наук при проведении эколого-геологических исследований направлено на решение определенной группы вопросов, связанных, прежде всего, с оценкой влияния особенностей проявления геохимической и геофизической экологических функций литосферы на здоровье населения и условия и безопасность его существования. Некоторые из этих методов (медико-статистические) используются и для оценки катастрофичности проявления природных процессов (через учет человеческих жертв).

Методы социально-экономических наук привлекаются для оценки комфортности проживания населения посредством учета экономических затрат и условий социального страхования. Важно подчеркнуть, что без их применения невозможно выполнить весь комплекс эколого-геологических исследований и получить необходимую информацию.

В структуре научного метода экологической геологии огромная роль принадлежит методам наук о Земле, включая специальные методы экологической геоло-

Таблица 4

Методы наук о Земле, используемые для получения эколого-геологической информации [16]

Методы наук о Земле	Экологическая функция литосферы						
	Ресурсная			Геодинамическая		Геохимическая	Геофизическая
	Минерально-сырьевые ресурсы	Ресурсы подземных вод	Ресурс геологического пространства	Эндогенные геологические процессы	Экзогенные геологические процессы	Природные и техногенные геохимические поля	Природные и техногенные геофизические поля
Инженерной геологии	–	–	++	+	++	+	+
Гидрогеологии	–	++	+	–	+	+	–
Геокриологии	–	+	++	–	++	–	+
Геохимии	+	+	–	++	+	++	–
Геофизики	+	+	+	++	+	+	++
Геологии полезных ископаемых	++	–	–	–	–	–	–
Геотектоники, геодинамики и сейсмотектоники	+	–	+	+	+	+	+
Геоморфологии	+	–	+	–	++	–	–
Исторической геологии и палеонтологии	+	–	–	–	+	–	–
Петрологии, литологии и минералогии	++	–	–	+	+	+	+

Примечание: методы наук не используются (–); используются (+); широко используются (++).

гии (см. табл. 3). Общее представление о методах наук о Земле, используемых для получения информации о различных экологических функциях литосферы, можно получить из табл. 4. В ней представлено 11 геологических наук разного иерархического уровня, методы которых используются при проведении эколого-геологических исследований. Для обеспечения единого подхода при оценке методов этих наук пришлось отказаться от выделения в их составе научных разделов. В первую очередь это касается инженерной геологии, гидрогеологии, геотектоники, геологии полезных ископаемых, а сами методы, иногда весьма многочисленные (например, в геофизике их более 100), объединить в названные группы. Кроме того, ряд наук, не имеющих собственных частных методов изучения литосферы, а опирающихся на общегеологические (динамическая геология), или не имеющих методов, существенных для получения эколого-геологической информации (кристаллография), вообще не представлены в таблице.

Конкретная роль методов названных в табл. 4 геологических наук охарактеризована в главе 10. Там же описаны специальные методы эколого-геологических исследований.

В заключение напомним, что логическая структура экологической геологии предполагает существование экологических направлений в конкретных дисциплинах геологии (геохимии, гидрогеологии, геодинамике и др.), исследующих, как правило, элементарные генетические цепочки совокупностью традиционных геологических методов. Для системных эколого-геологических исследований необходимо разработать такие методологические подходы, которые позволяли бы решать важнейшие задачи экологической геологии:

- создавать базу данных о состоянии эколого-геологической обстановки - системы как целостного объекта;

- организовывать эколого-геологические работы;

- разрабатывать принципы и рекомендации построения и функционирования устойчивых эколого-геологических систем.

2.2. Содержательные задачи экологической геологии

Основные научные задачи экологической геологии сведены В.Т.Трофимовым и Д.Г.Зилингом (1995) к следующему:

- изучение экологических функций литосферы, закономерностей их формирования и динамики развития под влиянием природных и техногенных процессов;

- разработка теории и методов оценки устойчивости приповерхностной части литосферы к техногенным воздействиям с точки зрения изменения ее экологических функций;

- разработка теории и методов управления состоянием и свойствами массивов приповерхностной части литосферы с целью сохранения или улучшения их экологических функций;

разработка теории, методов и рецептур утилизации экологически опасных промышленных отходов и выбор оптимальных (по геологическим условиям) участков массивов для их захоронения с целью наименьшего ухудшения экологических свойств территории;

разработка теории и методики геологического обоснования инженерной защиты территорий, объектов и сооружений от природных и антропогенных геологических процессов, снижающих ее экологические функции.

Прикладные задачи в укрупненном виде и типологическом плане могут быть сформулированы так:

обоснование рационального использования ресурсов литосферы для нормального функционирования экосистем;

установление влияния техногенного загрязнения приповерхностной части литосферы на биоту;

геологическое обоснование для разработки и принятия решений по управлению биотопом экосистем или экосистемами.

В табл. 5 эколого-геологические задачи рассмотрены более детально и расписаны применительно к исследованию каждой экологической функции литосферы в отдельности. Такая форма изложения материала компактна и удобна для сопоставлений. Одновременно она позволяет акцентировать внимание на специфике

Таблица 5

**Экологические функции литосферы и связанные с ними эколого-геологические задачи
(по В.Т.Трофимову и Д.Г.Зилингу, 1999)**

Экологическая функция литосферы и ее составляющие		Эколого-геологические задачи
1	2	3
Ресурсная	Ресурсы для биоты (минеральные элементы биофильного ряда)	<p>Оценка ресурсов биофильного ряда с учетом лимитирующих факторов среды накопления для обеспечения нормального существования биоты</p> <p>Выяснение закономерностей пространственного размещения макро- и микробиогенных элементов и их соединений с экологических позиций</p> <p>Законы осадочной седиментации подвижных форм ряда биофильных элементов и их экологическая значимость</p> <p>Оценка экологических последствий извлечения и утилизации минерального вещества, включающего элементы биофильного ряда</p>
	Ресурсы для человеческого сообщества	<p>Оценка минеральных ресурсов, обеспечивающих потребности и развитие человеческого общества, с выделением лимитирующих элементов и их соединений</p> <p>Современные тенденции и перспективы развития минерально-сырьевой базы с экологических позиций</p>

1	2	3
Ресурсная	<p>Ресурсы для человеческого сообщества</p> <p>Ресурсы геологического пространства</p>	<p>Повышение эффективности использования природных минеральных ресурсов с учетом рационального природопользования</p> <p>Экологические последствия нерационального природопользования</p> <p>Оценка и сохранение ресурсов подземных вод питьевого и технического назначения для обеспечения нормального функционирования экосистем</p> <p>Оценка состояния и динамики изменения гидродинамической и балансовой структуры подземных вод с экологических позиций</p> <p>Региональная оценка ресурсов подземных вод питьевого назначения с учетом техногенной нагрузки с экологических позиций</p> <p>Оценка экологических последствий истощения минеральных ресурсов</p> <p>Региональная и локальная оценка в зоне хозяйственного освоения ресурсов геологического пространства (земной поверхности) для обеспечения комфортности проживания населения</p> <p>Рациональность и возможность использования осваиваемой территории с экологических позиций</p> <p>Рациональное использование подземного геологического пространства на урбанизированных территориях с учетом комфортности проживания населения</p> <p>Выбор максимально экологически безопасных мест захоронения высокотоксичных и радиоактивных отходов</p> <p>Разработка рецептур и технологий утилизации твердых и жидких промышленных и бытовых отходов для обеспечения нормального функционирования экосистем</p> <p>Разработка методов и рецептур для управления состоянием и свойствами массивов пород (природных, техногенно нарушенных, техногенно созданных) с целью сохранения или улучшения их экологических функций</p>
Геодинамическая	Катастрофические геологические процессы (непосредственная угроза существованию биоты)	<p>Целевое оценочное районирование территории с выделением районов с высокой повторяемостью катастрофических геологических процессов</p> <p>Влияние техногенеза на развитие или активизацию катастрофических геологических процессов с учетом экологических последствий</p> <p>Прогноз развития катастрофических геологических процессов в пространстве и во времени (с учетом "наведенных" процессов) для оценки экологического риска</p>

1	2	3
Геодинамическая	<p>Катастрофические геологические процессы (непосредственная угроза существованию биоты)</p> <p>Неблагоприятные геологические процессы (дискомфортность существования человека)</p>	<p>Эколого-геологическое обоснование инженерной защиты территорий от катастрофических природных и антропогенных геологических процессов для обеспечения комфортности и безопасности проживания населения</p> <p>Целевое оценочное районирование территорий с выделением районов с геодинамической дискомфортом проживания населения</p> <p>Влияние техногенеза на развитие или активизацию неблагоприятных геологических процессов с учетом экологических последствий</p> <p>Прогноз развития неблагоприятных геологических процессов (площадной пораженности и развития во времени) для оценки геологического риска в связи с решением экологических вопросов</p> <p>Вопросы оценки уровня дискомфорта проживания населения под влиянием неблагоприятных геологических процессов</p> <p>Оценка устойчивости территории к техногенным воздействиям с экологических позиций</p> <p>Обоснование необходимости мер инженерной защиты территорий от негативных геологических процессов с экологических позиций</p>
Геохимическая	<p>Природные и техногенные геохимические поля (литогеохимическое, сноухимическое, гидрогеохимическое, атмосферно-геохимическое) и выделение патогенных аномалий</p>	<p>Изучение природных и техногенных геохимических полей для оценки их воздействия на биоту и выделение патогенных аномалий</p> <p>Оценка экологических последствий геохимического воздействия на литосферу (включая подземные воды) различных видов хозяйственной и технической деятельности человека</p> <p>Оценка уровня биологического дискомфорта территорий, обусловленного геохимическим патогенным воздействием на биоту</p> <p>Целевое районирование территории по уровню биологического дискомфорта от геохимических неоднородностей литосферы</p> <p>Рецептура и технология обезвреживания и изъятия из природных кругооборотов токсичных и радиоактивных элементов и соединений путем осаждения и изомерных замещений, накопления и нейтрализации на геохимических барьерах, разбавления для снижения негативного воздействия на биоту</p> <p>Оценка состояния и динамики изменения химического состава (качества) подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения для обеспечения экологически чистого водоснабжения населения</p>

1	2	3
Геохимическая	Природные и техногенные геохимические поля (литогеохимическое, сноухимическое, гидрогеохимическое, атмосферно-геохимическое) и выделение патогенных аномалий	Оценка защищенности подземных вод от антропогенного загрязнения с учетом экологических требований Оценка устойчивости (или чувствительности) территории к антропогенному загрязнению по экологическим критериям Эколого-геологическое обоснование управляющих решений по снижению геохимически обусловленного дискомфорта проживания населения
Геофизическая	Природные и техногенные геофизические поля (магнитное, электрическое, вибрационное, гравитационное, радиационное) и выделение патогенных аномалий	Изучение природных и техногенных геофизических полей для оценки их воздействия на биоту и выделения патогенных аномалий Оценка экологических последствий воздействия аномалий геофизических полей литосферы на биоту и человека Оценка уровня биологического дискомфорта территорий, обусловленного патогенным воздействием геофизических и физических полей Целевое районирование территории по уровню геофизически обусловленного дискомфорта проживания населения Изучение зон разгрузки ювенильных газов с позиций опосредованного патогенного воздействия последних на биоту Эколого-геологическое обоснование управляющих решений по снижению биологического дискомфорта от воздействия геофизических полей на территориях городских агломераций

решаемых задач, обусловленной их четкой экологической направленностью (обеспечение существования и комфортности проживания живых организмов, нормального функционирования экосистем, рационального недропользования, оценка экологических последствий и т.д.). Сами задачи комментария не требуют.

В заключение подчеркнем, что в этой таблице приведены, по существу, типологические группы задач, объединяющие все частные случаи. Сами же конкретные эколого-геологические задачи изучения того или иного объекта могут быть сформулированы, исходя из содержания этого перечня типовых задач.

Литература

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. — 368 с.

Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г. Инженерная геология и экологическая геология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. — 120 с.

ПОДХОДЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

3.1. Существующие подходы к оценке экологического состояния систем

Проблема выбора, обоснования и ранжирования критериев оценки эколого-геологического состояния приповерхностной части литосферы, взаимодействующей с биотой, включая человеческое сообщество, достаточно сложная и по ряду позиций не имеющая общепринятых решений даже на концептуальном уровне. Анализ публикаций по проблеме позволяет вычленить несколько концептуальных подходов, используемых для решения поставленной задачи.

Первый подход основан на прямых количественных оценках эколого-геологического состояния формирующих литосферу компонентов (собственно литосфера, подземные воды, геологические явления, развивающиеся в литосфере). Он базируется на концепции предельно допустимых концентраций (ПДК), предельно допустимых содержаний (ПДС), предельно допустимых норм (ПДН) отдельных загрязнителей (токсикантов) или собственных особенностей компонентов литосферы и оценках их площадной пораженности (процессами, загрязнителями). Основными недостатками такого подхода являются: невозможность оценки общего композиционного влияния всех рассматриваемых факторов на биологические объекты (геосистему); весьма относительная корректность и объективность установленных ПДК, ПДС, о чем свидетельствует их постоянная корректировка и заметные отличия от зарубежных аналогов; отсутствие нормативной базы для оценки ресурсного потенциала литосферы.

Второй подход можно определить как оценку благоприятности приповерхностной части литосферы для ее хозяйственного освоения. Он декларирует ее рассмотрение как литотехнической системы разного экологического состояния. Последнее требует ранжирования состояния литосферы либо выделения определенных классов этого состояния.

В мировой практике чаще всего используется шестибалльная шкала измененности верхних горизонтов литосферы (оценки ее состояния): I - неизменные, II - слабоизмененные, III - среднеизмененные, IV - сильноизмененные, V - очень сильно измененные, VI - катастрофически измененные. При этом первая степень (класс состояния) характеризуется значениями прямых критериев оценки ниже ПДК (фона), вторая степень - близкими значениями критериев оценки к ПДК или фону, остальные степени измененности превышают ПДК и фон. Выделение всех классов состояний не имеет строгого обоснования принятых градаций по отношению к ПДК и фону и, по своей сущности, все они являются "договорными". В отечественных публикациях и, осо-

бенно, инструктивных геологических материалах при эколого-геологических исследованиях на региональном уровне применяется трехбалльная шкала оценок, единая для всех используемых критериев. В ней для приповерхностной части литосферы рекомендуется выделять следующие степени изменения: удовлетворительную; условно удовлетворительную в период картографирования, но в ближайшие 3-5 лет с возможностью изменения к худшему; неудовлетворительную. Однако обоснование этих градаций представляется затруднительным в практическом использовании, так как включает в себя элементы прогноза. Более удачным следует считать оценку экологического состояния приповерхностной части литосферы также по трем градациям - благоприятное, неблагоприятное, весьма неблагоприятное, основанное на соответствующих градациях комплекса природных и техногенных факторов. В последнее время появились тенденции к выделению из состава третьей градации еще одного класса состояния, которому территориально должна соответствовать зона экологического бедствия, или катастрофы.

Изложенный подход расширяет набор привлекаемых критериев оценки и открывает возможности для использования, кроме прямых и индикационных критериев, оценки по смежным, связанным с литосферой, средам. Однако он не дает научно обоснованных градаций состояний с экологических позиций. Кроме того, большинство градаций по своей сути являются "договорными" и могут трансформироваться как по числу, так и по количественным характеристикам применительно к разным природным зонам.

И, наконец, существует *третий подход*, во многом снимающий или нивелирующий недостатки двух предыдущих. В нем исходным положением стал отказ от раздельной оценки состояний природных сред, в том числе и литосферы, и их механического суммирования на основе балльных оценок. Определяющим, концептуальным положением такого подхода стало отношение к природной и природно-техногенной системам как к экосистемам высокого уровня организации, характеризующимся функциональным единством всех входящих в них компонентов (природных геосфер). Исходя из этого, акцент делается на оценку состояния экосистемы с последующим раскрытием его через оценку состояний формирующих ее биотических и абиотических компонентов (сфер, сред). Другими словами - современное состояние экосистем обусловлено состоянием всех входящих в нее компонентов, в том числе и литосферы. Именно это дает научно обоснованное право на оценку эколого-геологического состояния литосферы первоначально через оценку общего состояния экосистемы, генерирующей в себе состояние всех входящих в нее сред и сфер, а уже потом, на втором этапе, детализацию его по прямым критериям оценки природных сред.

Такой подход к выявлению состояния экосистемы осуществляется на основе ограниченного числа критериев, обеспечивающих при совместном рассмотрении уверенную оценку (квалификацию) ее состояния. Предлагаемая концепция позволяет избежать не только явного субъективизма балльных оценок, но и раскрыть причины современного состояния экосистемы и разработать конкретные рекомендации по ее нормальному функционированию.

Практическая реализация концепции возможна только при едином подходе к оценке состояния как экосистемы, так и слагающих ее компонентов. Поэтому учет современного состояния естественных (природных) и техногенно измененных экосистем, их биотической и абиотической составляющих предлагается осуществлять через ранжирование по классам состояний (для геомы) и, соответственно, зоны нарушений (для биомы) и экосистемы в целом. В настоящее время можно рекомендовать четыре уровня природно-антропогенных экологических нарушений - нормы (Н), риска (Р), кризиса (К) и бедствия (Б), что согласуется с публикациями ряда исследователей (например, Б.В.Виноградова и др.) и достаточно уверенно корреспондируется с директивными документами. В основу выделения этих уровней положено ранжирование нарушения экосистем по глубине их необратимости.

В соответствии с изложенным предлагается выделять следующие классы (зоны) состояний экосистем:

зону экологической нормы, которая включает территории без заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистем, ее относительной стабильности. Значение прямых критериев оценки ниже ПДК или фоновых. Деградация земель менее 5% площади ;

зону экологического риска, включающую территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, их нестабильным состоянием, ведущим в дальнейшем к спонтанной деградации экосистем, но еще с обратимыми нарушениями. Территории требуют разумного хозяйственного использования и планирования мероприятий по их улучшению. Значения прямых критериев оценки незначительно превышают ПДК или фон. Деградация земель от 5 до 20% площади;

зону экологического кризиса, которая включает территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости экосистем и трудно обратимыми нарушениями. Необходимо выборочное хозяйственное использование территорий и планирование их глубокого улучшения. Значения прямых критериев оценки значительно превышает ПДК или фон. Деградация земель от 20 до 50% площади;

зону экологического бедствия - катастрофы, включающую в себя территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем, исключающую территорию из хозяйственного использования. Значения прямых критериев оценки в десятки раз превышают ПДК или фон. Деградация земель более 50% площади.

Выделение зон экологического состояния экосистем должно осуществляться на основе небольшого числа наиболее представительных показателей, но обязательно с использованием и взаимным учетом тематических, пространственных и

* Фоновые значения - средние естественные значения для определенной территории.

** Деградация земель - овражная, ветровая, площадная водная эрозии с полным уничтожением гумусового горизонта и вторичное засоление почв с потерей плодородия; в общем виде - площадь земель, выведенных из землепользования.

динамических критериев оценки. Здесь важно подчеркнуть, что единого интегрального показателя состояния экосистемы в настоящее время нет, однако число наиболее представительных показателей может быть сведено к оптимальному минимуму. Оценка экологического состояния территории должна включать интегральную морфологическую оценку состояния экосистемы с расшифровкой ее через характеристику состояния геосфер (среды обитания). Только такая комплексная оценка даст представление не только о современном состоянии экосистемы, но и его причинах с учетом влияния природных аномалий и техногенеза.

3.2. Категориальные основы оценки состояния эколого-геологических условий

Вопрос о критериях оценки экологических функций литосферы, выделении различных категорий ее состояния относится к важнейшим теоретическим и методическим положениям экологической геологии. Не останавливаясь здесь на общих вопросах, связанных с выбором критериев оценки экологического состояния компонентов литосферы и взаимодействующей с ней биоты (они приведены ниже применительно к каждой экологической функции литосферы), отметим главное с рассматриваемых нами позиций: *все критерии оценки должны быть органически связаны с экологическими особенностями литосферы и учитывать соответствующие функциональные зависимости между ее компонентами и биотой.*

Состояние живых организмов и влияние на них факторов внешней среды оценивается, как известно, исключительно по реакции организмов непосредственно на воздействие, а также в период последствий. Практически всякое отклонение от нормы в окружающих условиях, в которых существует живой организм, может повлечь за собой опасность возникновения вредных последствий. И чем значительнее отклонение, тем выше вероятность наступления этих последствий и тем они серьезнее. В полной мере это относится и к человеческому организму.

В свою очередь, реакция экосистем любого ранга зависит от того, в какой мере экологическое состояние литосферы адекватно условиям гомеостаза* (или гомеостазиса) рассматриваемой системы. Последний предполагает сохранение устойчивости экосистемы в условиях воздействия ряда факторов. При этом воздействие каждого фактора или их совокупности может быть оценено как минимальное, когда оно не вызывает реакции (возмущения) экосистемы, и максимальное, последствиями которого может быть деградация экосистемы в целом или отдельных ее компонентов или даже гибель экосистемы и переход ее в новое качество, по сути дела в новую экосистему. Диапазон между минимальным и максимальным уровнем воздействия факторов представляет собой "предел толерантности" экосисте-

* Гомеостаз - относительное динамическое постоянство состава и свойств внутренней структуры экосистемы (организма) и ее устойчивость по отношению к внешним воздействиям.

мы, т.е. тот диапазон изменения уровня воздействия, в пределах которого система способна за счет своих адаптационных возможностей противостоять изменяющему ее внутреннее состояние воздействию.

Биолого-медицинская оценка реакции организма человека на изменение внешних условий постулирует, что при минимальных, не выходящих за фоновый уровень, изменениях (минимальное воздействие факторов) можно характеризовать состояние организма как здоровое, при максимальном воздействии факторов, изменяющих условия существования, это состояние оценивается как болезненное (или патология). Весь промежуток между указанными двумя пределами делится на два интервала, определяемые как "напряжение" и "утомление".

Напряжение характеризует стадию мобилизации регуляторных и гомеостатических механизмов живого организма (экосистемы), обеспечивающих его существование. Когда мобилизованные, в том числе и энергетические, ресурсы оказываются уже не в состоянии обеспечить существование живого организма или экосистемы на "заданном" природой уровне, наступает утомление - обратимое состояние живого организма или экосистемы с истощением ресурсов и регуляторных и гомеостатических систем. Исходя из этого, оценку реакции живых организмов (экосистем и человека) предлагается проводить по четырехуровневой схеме - "здоровье-напряжение-утомление-болезнь".

По аналогичной четырехуровневой схеме построена оценка состояния окружающей среды, предложенная отечественными гигиенистами В.М.Прусаковым и К.А.Буштуевым. Они предлагают оценивать состояние среды как малоопасное, если на общем благополучном фоне обнаруживается тенденция к изменению показателей здоровья; умеренно опасное - в случае возникновения неустойчивых эпизодических изменений факторов здоровья; опасное, когда наблюдается повышение неспецифической заболеваемости, ухудшение показателей физического и нервно-психического развития детей, физиолого-клинического состояния детей и взрослых; чрезвычайно опасное - в случае увеличения смертности, количества онкологической, специфической и (или) профессиональной патологий.

Если оценивать реакцию человеческого организма не на биолого-медицинском и гигиеническом, а на "бытовом" уровне, ориентируясь на самочувствие и эмоциональный настрой отдельных индивидуумов и целых социальных групп, можно предложить несколько иное деление уровней шкалы, основанное, тем не менее, на той же тетраидной схеме - "комфорт-дискомфорт-сильный дискомфорт-опасность". Экстраполяция предложенной схемы на весь широкий спектр природных и природно-технических экосистем с сохранением общего принципа ее построения позволила Б.В.Виноградову предложить в качестве уровней оценок следующий ряд: "экологическая норма-экологический риск-экологический кризис-экологическое бедствие".

Как уже указывалось выше, каждому интервалу, характеризующему реакцию живых организмов, человека или экосистемы, должен соответствовать некоторый интервал, определяющий в заданных пределах изменение уровня внешнего воз-

действия. В той же четырехзвенной схеме его целесообразно градуировать в виде ряда воздействий - "слабое-умеренное-сильное-опасное".

В общем виде изложенный подход отражен в табл. 6, в которой приведена принципиальная схема оценки состояния эколого-геологических условий (экологического состояния литосферы), биоты и экосистемы. Нетрудно заметить, что ее теоретическая и методическая основа базируется на представлениях об экологиче-

Таблица 6

**Принципиальная схема взаимоувязанной оценки состояния
эколого-геологических условий, биоты и экосистемы**

Оцениваемый параметр	Категории (уровни)			
	I	II	III	IV
Экосистема (по Б.В.Виноградову)	Экологическая норма	Экологический риск	Экологический кризис	Экологическое бедствие
Состояние литосферы и ее компонентов	Удовлетворительное (благоприятное)	Условно удовлетворительное (относительно неблагоприятное)	Неудовлетворительное (весьма неблагоприятное)	Катастрофическое
Ресурсное воздействие	Слабое	Умеренное	Сильное	Опасное
Геодинамическое воздействие	Слабое	Умеренное	Сильное	Опасное
Геохимическое воздействие	Слабое	Умеренное	Сильное	Опасное
Геофизическое воздействие	Слабое	Умеренное	Сильное	Опасное
Условия жизнедеятельности человека	Комфортные	Дискомфортные	Сильно дискомфортные	Опасные
Состояние здоровья человека	Здоровое	Напряжение	Утомление	Болезнь
Гигиеническое состояние среды (по В.М.Прусакову и К.А.Буштуеву [13])	Малоопасное	Умеренно опасное	Опасное	Чрезвычайно опасное
Качество территориального ресурса	Высокое	Среднее (повышенное)	Пониженное	Низкое
Условия гомеостаза экосистемы	Не вызывают реакции (возмущения экосистемы)	"Предел толерантности" экосистемы, ее способность противостоять внешнему воздействию		Разрушение, гибель экосистемы

ских функциях литосферы и корреляции экологического состояния компонентов литосферы с состоянием биоты и экосистемы в целом.

По мнению авторов, оптимальной на современном этапе является четырех-ранговая оценочная структура, разработанная для экосистем Б.В.Виноградовым. С ней должна коррелироваться оценочная структура классов состояния эколого-геологических условий литосферы или ее компонентов. Предложено выделять следующие классы состояний эколого-геологической обстановки литосферы:

класс удовлетворительного (благоприятного) состояния, который коррелируется с зоной экологической нормы экосистемы, по Б.В.Виноградову. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы ниже ПДК или фоновых (за исключением природных аномалий);

класс условно удовлетворительного (относительно неблагоприятного) состояния, который коррелируется с зоной экологического риска. Территории требуют разумного хозяйственного использования, планирования и проведения мероприятий по их улучшению. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы незначительно (до 5 раз) превышают ПДК или фон (кроме природных аномалий);

класс неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния, который коррелируется с зоной экологического кризиса. Необходимо выборочное хозяйственное использование территорий, планирование и оперативное проведение глубокого улучшения. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы в 5-10 раз превышают ПДК и фон;

класс катастрофического состояния, который коррелируется с зоной экологического бедствия. Значения прямых критериев оценки эколого-геологического состояния литосферы в десятки раз превышают ПДК и фон.

Сказанное справедливо, если состояние биоты обусловлено только эколого-геологическими условиями. Если же состояние биоты или всей экосистемы определяется интегральным состоянием всех абиотических сред, а иногда и социально-экономическими факторами, вопрос сложнее. Желательно вычленить только литосферное влияние на биоту через биогеохимические критерии (например, содержание элементов в золе растений), характер заболеваемости населения. Так, развитие молибденоза (горной подагры) связано с ареалами загрязнения почв молибденом, откуда он попадает в растительность и через овечье молоко - к человеку. Трофическая цепочка начинается от почвенного горизонта литосферы как первого геохимического барьера, накапливающего токсикант. В случае превалирования таких заболеваний, как пневмокониозы, хронические пылевые бронхиты, источник загрязнения связан с атмосферным переносом пыли (атмогеохимическими аномалиями); прямой корреляции между состоянием литосферы и состоянием биоты нет. Здесь необходимо уточнить источник попадания пыли (аэрозолей, взвеси) в атмосферу, чтобы достаточно обоснованно принять решение о роли литосферы в образовании очагов загрязнения. Вопрос этот сложный, и его решение во многом определяется квалификацией исследователя. В любом случае предложенная корреляция классов состояния эколого-геологических условий приповерхностной

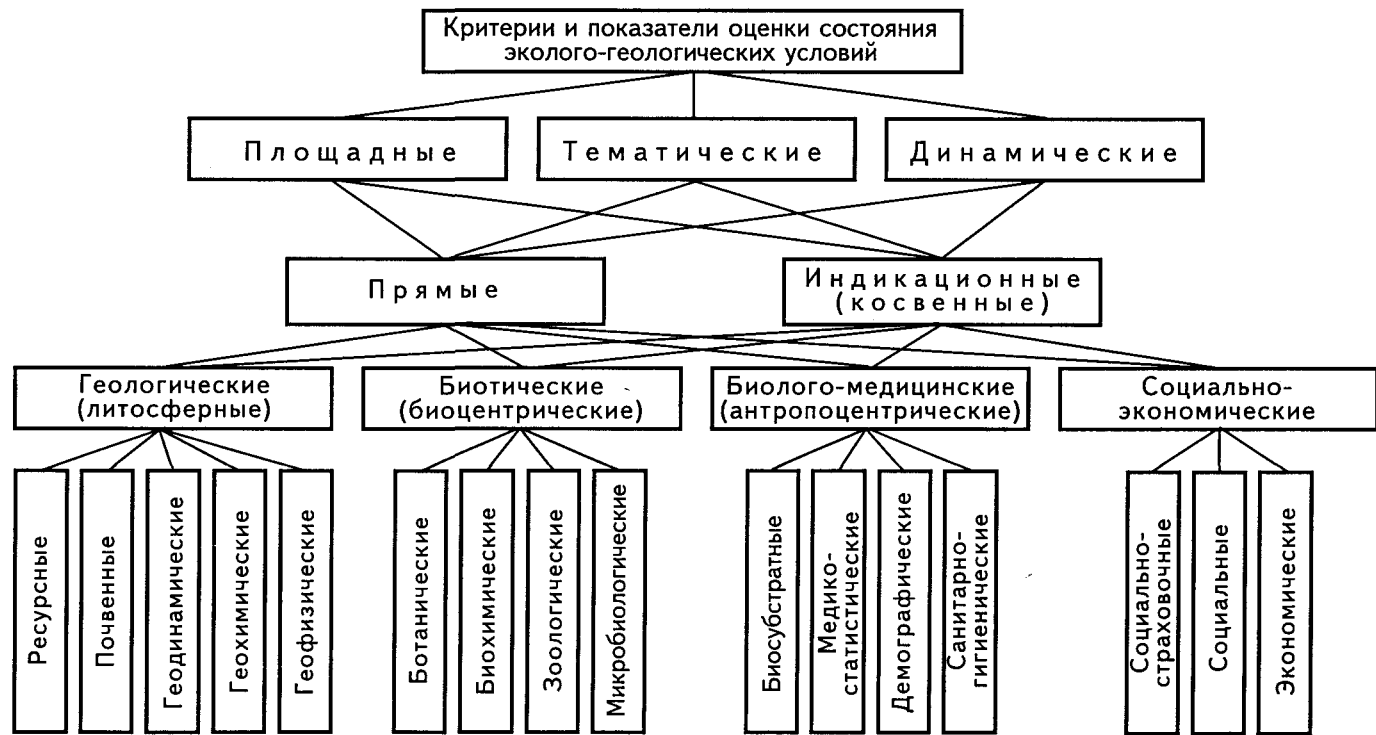


Рис. 6. Систематика показателей, используемых при оценке состояния эколого-геологических условий

Таблица 7

Сравнительная оценка сейсмической интенсивности при эколого-геологическом и инженерно-геологическом подходах

Эколого-геологический подход		Сейсмическая интенсивность, балл мм / с	Инженерно-геологический подход		
Оценка воздействия по шкале сейсмической интенсивности MSK-64	Зона состояния экосистем		Оценка воздействия по шкале сейсмической интенсивности MSK-64	Оценка воздействия по шкале С.В.Медведева	Тип местности по СНиП 2.02.01-83
Ниже предела чувствительности людей	Норма	$\frac{1}{0,025-2,5}$	Незаметное. Повреж- дений зданий нет	Незаметное	I тип, меры инженер- ной защиты не предус- матриваются
Ощущается отдельными людьми	Риск	$\frac{2}{2,6-5,0}$	Едва ощутимое. По- вреждений зданий нет	Очень слабое	
Ощущается немногими людьми в помещениях		$\frac{3}{5,1-10,0}$	Слабое. Повреждений зданий нет	Слабое	
Ощущается многими людьми в помещениях		$\frac{4}{11-25}$	Заметное. Поврежде- ний зданий нет	Умеренное	
Ощущается всеми людьми в зда- ниях, некоторыми вне зданий		$\frac{5}{26-50}$	Слабые повреждения в зданиях типа А	Довольно сильное	
Ощущается всеми людьми, многие выбегают на улицу	Кризис	$\frac{6}{51-100}$	Слабые повреждения зданий типа А и В	Сильное	II тип, предусматри- ваются специальные конструкции зданий разного типа
Люди испуганы, выбегают из зданий, теряют равновесие		$\frac{7}{101-250}$	Повреждение зданий	Очень сильное	
Испуг, паника, беспокойство у водителей		$\frac{8}{251-500}$	Сильные повреждения зданий	Разрушительное	
Всеобщая паника у людей и животных	Бедствие	$\frac{9}{501-1000}$	Всеобщее поврежде- ние зданий и мебели	Опустошительное	III тип, массовые виды строительства не рекомендуются
Всеобщая паника, гибель людей и животных		$\frac{10}{1001-2500}$	Всеобщее разрушение зданий	Уничтожающее	
Гибель людей и животных		$\frac{11-12}{>2501}$	Катастрофа, изменение рельефа	Катастрофа	

части литосферы с зонами экологического состояния территории (на основе состояния биоты или экосистемы) требует продуманного решения, учитывающего отмеченные сложности.

При оценке состояния эколого-геологических условий используются показатели разных типов. Они могут быть **тематическими**, площадными (пространственными) и динамическими (рис. 6). Первые - *тематические* - представляют содержательные показатели, характеризующие состояние эколого-геологической системы, биоты или их отдельных компонент. *Пространственные критерии* оценивают площадь или объем нарушений по перечисленным выше тематическим показателям. *Динамические критерии* характеризуют скорость нарастания неблагоприятных изменений, выявленных по тематическим показателям.

С содержательной точки зрения все эти критерии достаточно многообразны: биотические, геологические, медико-санитарные, социально-экономические, причем все они включают по несколько показателей. Среди них могут быть как *прямые*, так и *индикаторные* показатели. Первые регламентируются нормативно-директивными документами и выражаются по отношению к ПДК, ПДВ, ПДС, ПДН либо фону и кларку. Они общеприняты и используются как при эколого-геологических, так и инженерно-экологических исследованиях.

Индикаторные (индикационные) *критерии* более специфичны. В ресурсной группе они включают в себя остаточные запасы с учетом достигнутого уровня потребления (количество лет); для ресурсов, необходимых для жизни биоты, и ресурсов геологического пространства критерии оценки пока вообще не разработаны. В геодинамической группе они включают в себя помимо площадных, объемных (энергетических) и динамических еще и медико-санитарные (для оценки воздействия катастрофических процессов), ботанические и зоологические. В геохимической группе критериев - это оценка степени загрязнения литосферы через геохимические и биохимические показатели (Z_c - суммарный показатель химического загрязнения; A_k - отношение содержания элемента в золе растений к его содержанию в горной породе), коэффициент техногенной нагрузки, избыток, недостаток или дисбаланс элементов в породах, почвах и растительности. В геофизической группе критерии оценки разработаны крайне слабо, за исключением оценки уровня радиационного излучения, который гостирован.

Различия оценки одних и тех же особенностей литосферы с эколого-геологических и инженерно-геологических позиций показаны в табл. 7. На основе ее данных видно, что оценка воздействия землетрясений одной и той же интенсивности принципиально неодинакова при различных, хотя и в обоих случаях геологических, подходах.

3.3. Критерии оценки современного состояния экосистем

Биотические и тематические критерии

Эти критерии включают в себя специфические индикационные показатели (индикаторы), характеризующие свойства и состояние экосистем: ботанические, биохимические, зоологические и микробиологические.

Ботанические критерии имеют наибольшее значение, поскольку они не только чувствительны к нарушениям окружающей среды, но и наиболее физиономичны и наилучшим образом прослеживают зоны экологического состояния по размерам в пространстве и по стадиям нарушения во времени. Ботанические показатели весьма специфичны, так как разные виды растений и разные растительные ассоциации в разных географических условиях имеют неодинаковую чувствительность и устойчивость к нарушающим воздействиям, и, следовательно, одни и те же показатели для квалификации зон экологического состояния могут существенно варьировать. При этом учитываются признаки негативных изменений на разных уровнях: организменном (фитопатологические изменения), популяционном (ухудшение видового состава и фитоценометрических признаков) и экосистемном (соотношение площади в ландшафте). В табл. 8 даются усредненные основные показатели, районированные для определенных зональных условий.

Таблица 8

Ботанические показатели нарушенности экосистем (по Б.В.Виноградову)

Показатели	Зона экологической нормы	Зона экологического риска	Зона экологического кризиса	Зона экологического бедствия
1	2	3	4	5
Ухудшение видового состава естественной растительности	Естественная смена доминантов, субдоминантов и характерных видов	Уменьшение обилия господствующих, в особенности полезных видов	Смена господствующих видов на вторичные, в основном непоедаемые сорные и ядовитые	Уменьшение обилия вторичных видов, полезных растений практически нет
Изменение ареалов	Отсутствие	Ослабление, изреживание	Разделение, сокращение	Исчезновение
Повреждение растительности	Отсутствие	Повреждение наиболее чувствительных видов – хвойных деревьев, лишайников	Повреждение среднечувствительных видов	Повреждение слабочувствительных видов – трав, кустарников
Появление тератологических отклонений	Отсутствие	Редкое	Спорадическое	Массовое

1	2	3	4	5
Уменьшение индекса разнообразия Симпсона, %	Менее 10	10-20	25-50	Более 50
Лесистость, % от зональной	Более 80	60-70	50-30	Менее 10
Повреждение древостоев, %	Менее 5	10-30	30-50	Более 50
Повреждение хвои, % биомассы	Менее 5	10-30	30-50	Более 50
Гибель посевов, % площади	Менее 5	5-15	15-30	Более 30
Проективное покрытие пастбищной и полупустынной растительности, % от нормальной	Более 80	60-70	50-30	Менее 10

Биохимические критерии экологического нарушения основаны на измерениях содержания химических веществ в растениях. Для квалификации критического экологического нарушения территории используются показатели изменения соотношения содержания токсичных и биологически активных микроэлементов в уколах растений с пробных площадок и в растительных кормах. В лесах распространенным токсикантом, воздействие которого на растения приводит к необратимым физиологическим и метаболическим нарушениям, является диоксид серы. Негативное действие тяжелых металлов на растения в основном связано с их проникновением в клеточные структуры с почвенным раствором. В целом же аэротехногенный путь поступления поллютантов в растения через их ассимиляционные органы является определяющим деградацию лесных биогеоценозов в условиях воздействия выбросов горно-металлургических предприятий. Накопление металлов в ассимилирующих органах растений увеличивается с увеличением уровней загрязнения среды их произрастания. Такая закономерность характерна только для тех металлов, которые являются приоритетными для состава выбросов металлургических предприятий. Другие металлы (не промышленного происхождения) распределяются по территории равномерно, и зависимостей их аккумуляции от зоны поражения растительности не найдено. Наиболее информативные биохимические показатели поражения лесных экосистем приведены в табл. 9.

Зоологические критерии и показатели нарушения животного мира могут рассматриваться как на ценотических уровнях (видовое разнообразие, простран-

Биохимические показатели нарушенности экосистем (по Б.В.Виноградову)

Показатели	Экологическая зона			
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Содержание (соотношение) в сухой массе травянистых растений:				
C : N	8-12	6-8	4-6	< 4
Pb, Cd, Hg, Ni, Cr, As, Sb по превышению ПДУ	1,1-1,5	2-4	5-10	> 10
F, мг/кг	10-12	20-50	50-200	> 200
Cu, мг/кг	10-20	30-70	80-100	> 100
Содержание Tl, Be, Ba по превышению фона	< 1,5	2-4	5-10	> 10
Al, Sn, Bi, Te, Wo, Mn, Ga, Ge, In, It по превышению фона	1,5-2,0	2,0-10	10-50	> 50
Zn, мг/кг	30-60	60-100	100-500	> 500
Fe, мг/кг	50-100	100-200	100-500	> 500
Mo, мг/кг	2-3	3-10	10-50	> 50
Co, мг/кг	0,3-1,0	1-5	5-50	> 50
Содержание Ni (в числителе) и Cu (в знаменателе) в сухой массе хвои и листьев растений, мг/кг:				
сосна	<u>10-30</u> 0-10	<u>30-70</u> 10-20	<u>70-100</u> 20-40	<u>> 100</u> > 40
береза	<u>10-30</u> 5-15	<u>30-50</u> 15-25	<u>50-130</u> 25-35	<u>> 130</u> > 35
брусника	<u>До 20</u> 7-33	<u>20-50</u> 7-28	<u>50-90</u> 9	<u>> 90</u> 10-94
черника	<u>3-12</u> 9-26	<u>20-24</u> 22-43	<u>37</u> 43	<u>95-148</u> 95-125
вороника	<u>6-20</u> 10-30	<u>43-50</u> 20-46	<u>119-208</u> 47-150	<u>279-495</u> 100-275

ственная и трофическая структуры, биомасса и продуктивность, энергетика), так и на популяционных (пространственная структура, численность и плотность, поведение, демографическая и генетическая структуры).

По зоологическим критериям может быть выделен ряд стадий нарушения экосистем. Зона риска выделяется, главным образом, по начальной стадии нарушения - синатропизации, потере стадного поведения, изменении путей миграции, реакции толерантности. Последующие стадии нарушения выделяются также и по пространственным, демографическим и генетическим критериям. Зона кризиса ха-

растеризуется нарушением структуры популяции, групп и стаи, сужением ареала распространения и обитания, нарушением продуктивного цикла. Зона бедствия отличается исчезновением части ареала или местообитания, массовой гибелью возрастных групп, резким ростом численности синантропных и нехарактерных видов, интенсивным ростом антропозоонозных и зоонозных заболеваний. Ввиду сильной разногодичной изменчивости зоологических показателей (не менее 25%), некоторые из приведенных критериев приводятся на 5-10-летний период (табл. 10).

Оценивая рассмотренные тематические критерии с позиций экологической геологии, необходимо четко представлять, что фиксируемая ими измененность экосистем в ряде случаев может быть связана не с прямым загрязнением литосферы, а обусловлена аэротехногенным путем поступления поллютантов в растительность, а через нее в живые организмы. Следовательно необходим дополнительный

Таблица 10

Зоологические показатели классов состояния экосистем (по Б.В.Виноградову)

Показатели	Экологическая зона			
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Частота антропозоонозных заболеваний	Случайная	Спорадическая (регистрируются не каждый год и в отдельных хозяйствах для домашних животных и на отдельных маршрутах для диких животных)	Регулярная (ежегодно и одновременно в ряде хозяйств и маршрутах для диких животных)	Массовая (ежегодно и на территории более 50%)
Падеж домашних животных, %	Случайный (менее 10)	Спорадический (10-20)	Регулярный (20-50)	Массовый (более 50)
Биоразнообразие, % от исходного	Менее 5	10-20	25-50	Более 50
Плотность популяции вида – индикатора антропогенной нагрузки, % от исходной	Менее 5	10-20	20-50	Более 50
Биомасса почвенной мезофауны, % от нормы	Более 90	60-80	30-50	Менее 20
Численность почвенных микроартропод, % от нормы	Более 90	60-80	40-60	Менее 20

Почвенные показатели классов состояния экосистем (по Б.В.Виноградову)

Показатели	Экологическая зона			
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Плодородие почв, % от потенциального	Более 85	65-85	65-25	Менее 25
Содержание гумуса, % от природного	Более 90	70-90	30-70	Менее 30
Площадь вторично засоленных почв, %	Менее 5	5-20	20-50	Более 50
Глубина смывости почвенных горизонтов	—	Смывы горизонт А ₁ или 50% горизонта А	Смывы горизонты А и частично АВ	Смывы горизонты А и В
Глубина смывости, % почвенного профиля	Менее 10	10-30	30-50	Более 50
Площадь обнаженных коренных пород, % площади	Менее 5	5-10	10-25	Более 25
Площадь ветровой эрозии (полностью сдутые почвы), %	Менее 5	10-20	20-40	Более 40
Задренованность песчаных почв, %	Более 60	30-60	10-30	Менее 10
Кратность снижения уровня активной микробной биомассы, число раз	Менее 5	5-10	10-50	Более 50

анализ всех сред геомы для оценки степени их загрязнения поллютантами и влияния на биоту.

Почвенные критерии. Здесь они рассматриваются в статусе оценочных критериев экосистемы, так как ухудшение свойств почв является одним из наиболее сильных факторов формирования зон экологического риска, кризиса или бедствия (хотя этот критерий по своей природе относится к группе геологических критериев). Прежде всего, это снижение плодородия почв на большой площади и с высокой скоростью. Почвенно-эрозионные критерии связаны с геологическими процессами, ускоренными неблагоприятной хозяйственной деятельностью человека. Эти процессы распространены и в естественных условиях, но нарушение человеком устойчивости растительного и почвенного покровов (вырубкой лесов, распашкой почв, перевыпасом пастбищ и т.п.) вызывает значительное ускорение и расширение площади этих процессов, что и приводит к формированию зон экологического риска, кризиса и бедствия. Одним из интегральных показателей загрязнения почвы является ее фитотоксичность (свойство почвы подавлять рост и развитие высших растений) и генотоксичность (способность влиять на структурно-

функциональное состояния почвенной биоты). Основные почвенные критерии выделения зон экологического состояния приводятся в табл. 11.

Биолого-медицинские тематические критерии

Критерии этого типа охватывают большую группу показателей, для которых пока нет устоявшейся систематики. В медицинской литературе эти показатели фигурируют под названиями *медико-демографические, медико-экологические, медико-геохимические, медико-биохимические* и др.

В настоящее время с определенной долей условности в составе биолого-медицинских критериев оценки здоровья населения можно выделить две группы. Первая из них - собственно *медицинские*, или, как их называют сами медики, *медико-статистические* и *медико-демографические*. Они дают представление о пространственной приуроченности, частоте и характере заболевания населения. Вторая группа критериев - *биосубстратные* (медико-экологические, медико-геохимические, медико-биохимические). Они характеризуют содержание ксенобиотиков в субстратах человеческого организма и продуктах его физиологической деятельности.

При использовании *медицинских* критериев следует учитывать, что заболеваемость населения - явление многофакторное и зависящее не только от качества среды обитания, но и от социально-экономических причин. По данным Всемирной организации здравоохранения, выделяются четыре группы факторов, влияющих на состояние здоровья населения с процентной оценкой их вклада:

образ жизни (экология социальной среды) - 50%, включает социальные и бытовые условия, качество и режим питания, гигиеническую культуру, микроклимат в семье, физическое воспитание и др.;

химическая экопатология - 20%, включает заболевания, связанные с загрязнением компонентов окружающей среды;

медицинское обслуживание (уровень обслуживания) - 10-20%;

наследственность - до 20%.

Из этого следует, что при анализе статистических данных по заболеваемости населения необходим критический подход к их оценке с акцентом на динамику и структуру общей заболеваемости.

Для практического использования этой информации геологами лучше всего опираться на статистические данные и материалы диспансеризации по моно- и полимикрозлементозным заболеваниям (болезням, возникающим от избытка или недостатка одного или нескольких химических элементов), для которых установлены четкие связи между их содержанием в природных средах и заболеваниями растений, животных и человека. Эти заболевания получили название *маркерных*, так как отражают природный либо техногенно обусловленный дисбаланс элементов в различных компонентах природной среды, включая литосферу. Кроме того, к экологически обусловленным заболеваниям большинство медиков относят он-

кологические, ноозоологические (эпидемиологические) и потерю иммунной сопротивляемости организма.

Общепризнанным положением при выборе *медико-демографических* критериев оценки является приоритет в анализе детской заболеваемости, что определяется большей территориальной стабильностью проживания детей по сравнению с взрослым работающим населением и повышенной детской химической гиперчувствительностью. Именно поэтому сотрудники Московского научно-исследовательского института педиатрии и детской хирургии Ю.Е.Вельтищев и В.В.Фокеева считают состояние здоровья детей одним из наиболее чувствительных показателей, отражающих изменение качества окружающей среды.

В.Ф.Протасов (1999) к основным медико-демографическим показателям оценки здоровья населения относит: заболеваемость, детскую смертность, специфические (маркерные) и онкологические заболевания, которые сравниваются с аналогичными показателями на фоновых территориях в тех же ландшафтно-климатических зонах. Данные показатели определяются раздельно для городского и сельского населения применительно к двум-трем конкретным фоновым (контрольным) территориям. Сравнение со средними величинами по республике, краю, области недопустимо. Предпочтение отдается показателям, рассчитанным за 10 лет, или их динамике за этот период. Для маркерных заболеваний может быть сделано исключение.

Ю.Е.Вельтищев, В.В.Фокеева (1996) с экопатогенными воздействиями связывают ноозоологические заболевания (новые, неизвестные ранее, для этой местности заболевания), к которым относятся: химические астмы, синдром общей утомляемости или напряженной адаптации. Для их оценки при заболевании детей рекомендуются следующие показатели: рождаемость, частота бесплодных браков, число мертворождений, младенческая смертность, общая смертность населения, средняя продолжительность жизни. Как уже отмечалось, эти показатели зависят от множества факторов. Более тесно коррелируются с загрязнением окружающей среды и ее компонентов следующие медико-демографические показатели: соотношение пола новорожденных; частота недоношенности, врожденных пороков развития детей, хромосомных болезней у них; распространенность аномалий скелета, анемий, вторичных иммунодефицитов, патологии ЛОР-органов; частота инфекционных болезней; частота и характер аллергической патологии; распространенность мочекаменного диатеза, умственного развития; появление новых необычных болезней и синдромов; частота и виды онкологических заболеваний; число детей-инвалидов и инвалидов детства и ряд других специфических медицинских показателей. Эти данные контролируются во времени и должны сопоставляться с динамикой изменений загрязненности абиотической среды.

В настоящее время можно считать доказанным, что экопатология детства – это прежде всего врожденные пороки, аллергические, хронические нервно-психические и соматические болезни и онкологические заболевания. Она определяется не столько распространенностью болезней, сколько их частотой и тяжестью протекания. Репрезентативность предложенных медико-демографических критериев

**Распространенность хронических форм патологии
на экологически неблагоприятных территориях (на 1000 детей)**

Заболевания	Контрольная территория	Зоны экологического неблагополучия
Болезни ЛОР-органов:		
хронические заболевания носа и придаточных пазух	21	31
хронический тонзиллит	116	239
хронический отит	6,9	9
Аллергические болезни:		
пищевая аллергия у детей раннего возраста	70	400
бронхиальная астма	9,7	24
респираторные аллергии	48	122
Рецидивирующий бронхит	6,0	94
Вегетососудистая дистония	12	144
Гастрит, гастродуоденит	60	180
Нефропатия	33	187
Поражения ЦНС:		
энцефалопатия, ДЦП	30	50
снижение коэффициента интеллектуального развития (IQ) менее 70%	30	138
Врожденные пороки развития	11	140

Примечание. В таблице использованы данные А.А.Баранова и др. (1994), Н.А.Гресь (1994), А.А.Ефимовой и др. (1994), Б.А.Ревича (1992), О.Н.Трухиной, М.С.Игнатовой (1994).

и признаков оценки наглядно иллюстрируется данными табл. 12, составленной Ю.Е.Вельтищевым и В.В.Фокеевой по материалам ряда медицинских публикаций.

Как следует из приведенной информации, использование медико-демографических признаков оценки заболеваемости требует координации таких исследований с медиками и, в первую очередь, со специалистами нового раздела медицины Environmental epidemiology (экологическая эпидемиология), изучающими экологически неблагоприятные воздействия окружающей среды на здоровье популяции человека.

Подавляющее большинство предложенных критериев оценки не обеспечено количественными показателями и дается на качественном уровне (за исключением зоны экологического бедствия и чрезвычайной ситуации). Проблема требует дальнейшей разработки, так как пока обоснована только принципиальная возможность использования медико-демографических критериев оценки.

Биосубстратные критерии основаны на количественной оценке содержания ксенобиотиков (конкретных химических элементов преимущественно высоких классов токсичности) и величин поглощенной дозы ионизирующей радиации в биосубстратах популяции человека и, особенно, детей. Последние включают в себя биологические жидкости - кровь, мочу, слюну и биологические субстраты - волосы, выпавшие зубы, удаленные полипы и миндалины, экскрименты, мозг, костную ткань. По мнению директора Московского научно-исследовательского института педиатрии и детской хирургии Ю.Е.Вельтищева (1996), применение этих критериев оценки при весьма распространенных синдромах экологической патологии детей чаще всего носит чисто академический интерес, так как реакция детского организма на ксенобиотики зависит от возраста, индивидуальной чувствительности и даже от их этнической принадлежности. Однако при наличии более или менее специфических признаков химической интоксикации (синдромов специфической химической гиперчувствительности) возможно объективное подтверждение существования причинно-следственных связей между присутствием в компонентах окружающей среды ксенобиотиков и патологическими реакциями организма. Использование биосубстратных критериев оценки при эколого-геологических исследованиях требует профессиональной медицинской подготовки, а в идеале - совместной работы геолога и медика.

Пространственные критерии

Кроме силы воздействия (нагрузки) на среду, для оценки нарушения экосистем большое значение имеет площадь таких нарушений. Если она невелика, то при равной глубине воздействия малая по площади нарушенная система быстрее восстановится, чем обширная. Если площадь нарушения более предельно допустимых размеров, то разрушение среды практически необратимо и относится к уровню катастрофы. Например, выгорание лесов на площади в десятки и сотни гектар практически обратимо, и леса восстанавливаются - это не катастрофа. Однако если площадь выгорания лесов или какой-либо формы техногенного разрушения растительного покрова достигает площади десятков и сотен тысяч гектар, за короткий период эти изменения практически необратимы, и происшествие квалифицируется как катастрофа. Таким образом, размер катастрофического экологического нарушения достаточно велик и превышает, исходя из нашего опыта, площадь 10 000-100 000 га в зависимости от типа растительности и геолого-географических условий. Чем серьезнее нарушение, тем больше репрезентативная площадь его выявления. По размерности (в км²) зоны экологического нарушения ранжируются на ряд пространственных иерархических уровней: региональные - 10 000; областные - 1000; районные - 100; локальные - 10; эндемические - 1.

На экосистемном уровне ботанические показатели зон экологического нарушения описываются пространственными характеристиками (относительной и абсолютной площадью показателя и соотношениями их площадей). В результате пространственным критерием зон экологического нарушения служит неоднород-

ность дестабилизации, например, относительная площадь земель (в %), выведенных из землепользования в пределах исследуемой экосистемы: (в нормальных условиях - менее 5, в зонах экологического риска - 5-20, кризиса - 20-50, бедствия - более 50). Таким образом, даже в нормальных условиях, т.е. в стабильном растительном покрове относительная площадь нарушенных земель может достигать 5%, а в зонах экологического бедствия превышает 50%. При одной и той же стадии нарушения, выявленной по тематическим критериям, увеличение относительной площади нарушения квалифицирует более высокий уровень опасности. Это может быть выражено в виде матрицы для административного района площадью 100-200 тыс. га. Так, выделение зон экологического нарушения (Н - норма, Р - риск, К - кризис, Б - бедствие) территории в зависимости от глубины экологического нарушения и занимаемой относительной площади (в %) имеет следующий вид (табл. 13).

Из этого следует, что даже сильное нарушение, занимающее площадь менее 5% территории, квалифицирует состояние экосистемы в пределах нормы. Но умеренное нарушение на площади более 50% территории служит основанием для объявления ее зоной экологического риска.

Для квалификации зон экологического риска, кризиса и бедствия необходимо учитывать пространственную неоднородность нарушенных зон и наличие в них комбинаций площадей (в %) разной степени нарушения (табл. 14).

Таблица 13

**Выделение зон нарушения экосистемы
в зависимости от глубины экологического нарушения и его площади
(по Б.В.Виноградову)**

Степень нарушения	Зона нарушения экосистемы при площади нарушения, %			
	< 5	5-20	20-50	> 50
Норма	Н	Н	Н	Н
Умеренное	Н	Н	Н	Р
Среднее	Н	Н	Р	К
Сильное	Н	Р	К	Б

Таблица 14

**Соотношение зон нарушения экосистем
с относительной площадью разной степени нарушений (по Б.В.Виноградову)**

Степень нарушения	Относительная площадь нарушения (в %) в экологических зонах			
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Умеренное	< 70	< 30	< 30	< 20
Среднее	< 10	> 40	> 40	> 30
Сильное	< 5	< 40	< 30	> 40

Динамические критерии

Перечисленные выше статические критерии выявления зон экологического нарушения при всей их очевидности недостаточны для объективной оценки, поскольку они не отражают истинной картины бедствия. Так, известные биогеохимические провинции (например, на Южном Урале или на Алтае) могут быть отнесены по статическим биогеохимическим показателям к зонам экологического кризиса. Вместе с тем, по динамическим критериям они таковыми не являются, так как повышенные концентрации металлов в почвах и растениях были там и до антропогена. Точно так же не являются зонами экологического бедствия изначально незакрепленные пески (например, Арчадинские, которые таковыми являлись с плейстоцена) и другие устойчивые природные эоловые комплексы. Поэтому необходимы и критерии выявления зон экологического нарушения по скорости нарастания неблагоприятных изменений природной среды (скорости накопления тяжелых металлов, скорости прироста площади подвижных песков и т.п.). По этому показателю можно выделить четыре класса динамизма растительного покрова:

стабильные территории со скоростью изменений менее 0,5% площади в год, подверженные лишь разнгодичной и циклической флуктуации;

умеренно динамичные территории со скоростью изменения до 1-2% площади в год, полная смена растительного покрова которых происходит за 50-100 лет и которые формируют слабо выраженные тренды; соответствуют зонам экологического риска;

Таблица 15

**Значение годовых динамических показателей состояния экосистемы
в зонах экологического нарушения
(среднее за 5-8 лет непрерывных наблюдений, по Б.В.Виноградову)**

Показатели	Экологическая зона			
	Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Увеличение площади разрушенных экосистем, %	Менее 0,5	1-2	2-4	Более 4
Уменьшение годичной растительной продукции, %	Менее 1	1,5-3,5	3,5-7,5	Более 7,5
Увеличение площади сбитых пастбищ, %	Менее 2	3-5	5-8	Более 8
Увеличение площади эродированных земель, %	Менее 0,5	1-2	2-5	Более 5
Увеличение площади засоленных почв, %	Менее 1	1-2	2-5	Более 5
Увеличение площади подвижных песков, %	Менее 0,5	1-2	2-4	Более 4

среднединамичные территории со скоростью изменений до 2-3% площади в год, полная смена растительного покрова которых происходит в течение 30-50 лет с выраженной формой тренда; соответствуют зонам экологического кризиса;

сильнодинамичные территории со скоростью изменений свыше 4% площади в год, полная смена растительного покрова которых происходит менее чем за 25 лет; соответствуют зонам экологического бедствия.

Для выявления скорости смен растительного покрова и исключения разногласных колебаний при выделении зон экологического бедствия необходима представительная продолжительность наблюдений. Считается, что минимальный срок для определения линейной скорости изменений составляет 8-10 лет, а для выявления нелинейной скорости - 20-30 лет. Примеры динамических показателей зон экологического риска, кризиса и бедствия представлены в табл. 15.

3.4. Критерии оценки состояния эколого-геологических условий и их компонент

Для количественной оценки эколого-геологического состояния литосферы и ее отдельных компонентов (породы, донные осадки, рельеф, подземные воды и др.) используются прямые критерии. Все многообразие этих критериев целесообразно объединить в определенные группы, отвечающие основным экологическим функциям литосферы: ресурсную, геодинамическую, геохимическую и геофизическую. Все они базируются на прямых критериях оценки (ПДК, ПДС, ПДН, запасах тех или иных элементов и т.п.). В случаях, когда таковые отсутствуют, определение степени изменения проводится от кларков или фоновых значений, фиксируемых на участках с техногенно ненарушенным, природным состоянием анализируемых компонентов литосферы.

Общее представление об обеспеченности прямых оценок компонентов литосферы ГОСТами и нормативными документами дает табл. 16, в которой выделяются терминология и понятия, уровни и показатели загрязнения, методика опробования и определения.

Анализ таблицы позволяет считать, что для ряда компонентов (подземные воды, почвы) прямая количественная оценка их изменчивости обеспечена нормативными характеристиками в полном объеме, начиная от понятийной базы до методов, приборов и допустимых концентраций. Для твердого компонента литосферы обеспеченность оценки их измененности нормативными документами значительно слабее, а для донных осадков практически отсутствует.

Ресурсная группа критериев

Ресурсная группа включает в себя критерии оценки, позволяющие установить уровень сработки экологически значимых минеральных, органо-минеральных, органических и водных ресурсов литосферы либо временную обеспеченность ими

Нормативные источники критериев оценки состояния компонентов литосферы

Компоненты литосферы	Элементы оценки	ГОСТы	Санитарные нормы
Гидросфера (поверхностная или подземная)	Понятия, терминология	ГОСТ 17.1.1.01-74	
	Методика опробования и определения	ГОСТы: 17.1.3.13-86; 17.1.3.06-82; 17.1.3.04-82; 17.1.3.12-86; 17.1.3.10-83; 17.1.3.11-84	
	Уровень и показатели загрязнения	ГОСТ 2874-82	СанПин: 42-121-4130-86; 4631-88; 2.14.544-96 ПДК: № 2932-83; № 3086-84; № 3285-85; № 4256-87
Почвы	Понятия, терминология	ГОСТ 17.4.1.03-84	
	Методика опробования и определения	ГОСТы: 17.3.3.03-85; 17.4.4.02-84; 17.4.3.06-86; 17.4.3.04-85; 17.4.2.03-88	
	Уровень и показатели загрязнения		ПДК; список 1-МЗ,1981 ПДК; список 3-МЗ,1982; ПДК – МЗ, 1985. СанПин: 42-128-4275-87; 42-128-4433-87
Поверхностная часть литосферы (включая донные осадки)	Понятия, терминология		
	Методика опробования и определения		
	Уровень и показатели загрязнения		

человеческого сообщества. Следует сразу сказать, что вся эта проблема практически не разработана в рассматриваемом плане, особенно в части литогенной составляющей (пород слагающих твердую компоненту литосферы) и донных осадков. Вопросы оценки ресурсов подземной гидросферы опираются на солидную нормативную базу.

Оценка ресурсов, необходимых для жизни биоты (без человека). Это горные породы, содержащие элементы биофильного ряда (жизненно необходимые организмам). Для них даже нет оценки распространения по площади, не говоря о "разведанных запасах". Вся информация сводится к эпизодическому выявлению и описанию мест, где эти породы выходят на дневную поверхность и являются доступными для травоядных и всеядных животных. Пока единственным возможным критерием их оценки является наличие или отсутствие их в границах рассматриваемой эколого-геологической системы.

Оценка минеральных ресурсов, необходимых для жизни и деятельности человеческого сообщества. Здесь крайне динамичным во времени, но в какой-то мере научно обоснованным критерием оценки является количество разведанных запасов, отнесенное к среднегодовой потребности человеческого сообщества с учетом достигнутого уровня цивилизации.

Это временной критерий, отражающий количество лет, в рамках которых конкретный минеральный ресурс может расходоваться, не нарушая условия существования человечества как социальной структуры. Он может рассматриваться как в планетарном аспекте, так и в национальном (в пределах суверенного государства). Понятно, что он зависит от применяемых технологий, возможного использования заменителей, общего уровня человеческой цивилизации и от объема разведанных запасов и перспектив их наращивания. Последнее и является задачей наук геологического цикла, геологической составляющей общего критерия оценки. Если подходить к проблеме с позиций функционирования эколого-геологической системы регионального или локального уровней, критерием оценки может стать отнесение определенных минеральных ресурсов конкретной территории (объема литосферы) к определенной категории качества. М.Б.Куринов предлагает выделять четыре таких категории по запасам конкретного минерального ресурса:

- имеющие мировое значение и являющиеся уникальными;
- имеющие национальное или региональное значение;
- имеющие локальное значение;

нерентабельные к разработке на современном технологическом уровне. Эти качественные критерии оценки могут быть трансформированы в количественные через стоимостную характеристику запасов (ресурса), которые зависят от климатических, технологических и ряда других факторов, что затрудняет возможность их корректного использования.

В публикациях географов в качестве критерия оценки минеральных ресурсов предлагается использовать потребление конкретного ресурса в тоннах на душу населения в год. Такие оценки выполнены по нефти, газу, углю как для отдельных регионов, так и в целом по странам СНГ и России. Нетрудно заметить, что здесь

в основе оценки лежит фактическое потребление минерального ресурса для определенной территории на душу населения. Эта оценка не дает представления о разведанных ресурсах и возможных сроках их эксплуатации, она говорит только о сегодняшнем уровне потребления.

В последние годы для оценки запасов стал широко использоваться показатель (критерий) обеспеченности по отдельным видам сырья и кратности запасов. В физическом выражении он представляет собой величину, определяемую как отношение остаточных запасов к сформировавшимся объемам текущей добычи либо по отношению к общим запасам, и показывает, на сколько лет хватит того или иного природного минерального или органоминерального ресурса при сложившемся уровне его добычи. Этот показатель наиболее удобен для сопоставления разнообразной и разновременной информации, так как приводится в абсолютном летоисчислении. Однако ранжирование по нему территорий по классам состояния – проблема чрезвычайно сложная, многофакторная и практически неразработанная.

Сказанное позволяет констатировать, что проблема определения критериев оценки минеральных ресурсов с экологических позиций (удовлетворение потребности общества) находится в начальной стадии разработки, опирается почти исключительно на знания о разведанных ресурсах того или иного вида минерального сырья и требует своего решения.

Ресурсы геологического пространства как среды жизни и деятельности человека. Критерия оценки этого ресурса литосферы пока в явном виде не существует. Проблема ждет своего решения, пути которого видятся в ранжировании геологического пространства по качеству и потенциалу для определения видов использования, включая захоронение токсикантов и подземную урбанизацию. На этой основе возможна площадная или объемная оценка соответствующего ресурса с его временной и пространственной привязкой либо тенденцией его использования.

Геодинамическая группа критериев

Критерии этой группы используются для оценки эколого-геологического состояния рельефа и подземного пространства литосферы, а также для оценки развития природных и антропогенных геологических процессов. Среди них выделяют: площадные критерии (отношение нарушенной площади к ненарушенной или общей площади в %); энергетические (скорости и объемы смещаемых пород) и динамические (скорости, темпы нарастания негативных нарушений поверхности и подземного пространства литосферы). Все перечисленные критерии оценки являются договорными, часто не имеют строгого научного обоснования и не подтверждены нормативными документами. По своей сущности они близки к экспертным оценкам. Сказанное относится и к рекомендованным градациям указанных критериев оценки, что свидетельствует об их достаточной условности и возможной территориальной изменчивости.

Площадные критерии оценки. Для рельефа и подземного пространства в качестве критериев их измененности (современного состояния) можно предложить два

**Оценка состояния эколого-геологических условий
по особенностям рельефа и подземного пространства
(по В.Т.Трофимову и Д.Г.Зилингу)**

Критерий оценки	Состояние эколого-геологических условий			
	Удовлетворительно	Условно удовлетворительное	Несудовлетворительное	Катастрофическое
Площадь техногенного рельефа к площади участка, %	До 10	10-25	25-50	Более 50
Размах нарушенного рельефа, м	До 10	10-20	20-50	—
Площади подработанных территорий, %	До 10	10-25	25-50	—

показателя: площадь и глубину нарушенности. Ранжирование этих критериев по классам состояний приведено в табл. 17.

Оценка пораженности поверхности литосферы природными и антропогенными геологическими процессами изложена во многих методических рекомендациях и инструкциях (СНиП 2.01.15-90). На основе их учета и последних разработок сотрудников ВСЕГИНГЕО предложена шкала оценок (табл. 18).

Реализуя на практике предложенные в табл. 18 критерии оценки необходимо учитывать, что ключевым моментом является выделение для каждой конкретной территории ведущих, наиболее опасных в экологическом отношении геологических процессов и их парагенезов. Критерием их выделения является оценка их экологического и экономического ущерба. Методический подход к такой оценке изложен в СНиП 2.01.15-90 и ряде публикаций.

Динамические критерии оценки. Важность и актуальность использования динамических критериев оценки наряду со статическими (площади, объемы и т.п.) обоснована выше. Однако в данном случае приходится констатировать, что разработанных динамических критериев оценки для учета (оценки) развития геологических процессов и техногенных преобразований рельефа, а точнее их экологической значимости, пока не существует даже в постановочном плане. Используя динамические показатели состояния экосистем (см. табл. 15), можно в качестве примера для обсуждения предложить их градации по классам состояний приповерхностной части литосферы (табл. 19).

Возможен и другой подход к оценке динамики степени загрязнения компонентов литосферы, вытекающий из работ Ю.Е.Саета. В ней показателем уровня аномальности содержания элементов (на поверхности земли, в почвах, в снеге, в подземных и поверхностных водах) является коэффициент концентрации K_o , который

Оценка состояния поверхности литосферы по развитию геологических процессов

Критерий оценки	Состояние эколого-геологических условий			
	Удовлетворительное	Условно удовлетворительное	Неудовлетворительное	Катастрофическое
Площадная пораженность поверхности геологическими процессами (катастрофическими и опасными), %	До 5	5-25	25-50	Более 50
Интенсивность развития геологических процессов (объемы, скорости, энергетика)	Градации не разработаны			
Сложность инженерно-геологических условий	Несложные, локальные меры защиты от опасных геологических процессов	Сложные, инженерная защита необходима на ограниченных площадях	Весьма сложные, необходима повсеместная инженерная защита	Систематическое проявление катастрофических процессов, меры инженерной защиты не гарантируют безопасность проживания людей

Таблица 19

Динамические показатели состояния приповерхностной части литосферы по скорости изменения площадных критериев оценки

Критерий оценки	Состояние эколого-геологических условий			
	Удовлетворительное	Условно удовлетворительное	Неудовлетворительное	Катастрофическое
Увеличение площади нарушения в год, %	До 1	1-2	2-5	Более 5

рассчитывается для разных временных интервалов как отношение содержания элемента в исследуемом объекте C к среднему фоновому его содержанию C_{ϕ} :

$$K_o = C/C_{\phi}.$$

Возможно использовать вместо фонового (кларкового) содержания элемента, его содержание по отношению к ПДК. В случае полиэлементного состава техно-

генной или природной аномалии рассчитываются суммарные показатели загрязнения (Z_c) и нагрузки (Z_p), характеризующие эффект воздействия группы элементов. Показатели рассчитываются по следующим формулам:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1);$$

$$Z_p = \sum_{i=1}^n K_p - (n - 1),$$

где: n - число учитываемых аномальных элементов; K_c - коэффициент концентрации, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением; K_p — коэффициент относительного увеличения общей нагрузки.

Все перечисленные показатели могут быть определены как для содержания в отдельной пробе, так и для участка территории (района, функциональной зоны, природной ландшафтной единицы, антропогенного ареала). В последнем случае исследование ведется по геохимическим выборкам. Для каждой выборки рассчитывается среднее значение концентрации элемента C , стандартное отклонение S и коэффициент вариации V .

После расчета коэффициентов концентрации и коэффициентов относительного увеличения общей нагрузки, каждая выборка представляется в виде набора относительных характеристик аномальности химических элементов.

Более детально вопросы оценки степени загрязнения геологической среды и ее компонентов изложены в серии методических рекомендаций ИМГРЭ.

Геохимическая группа критериев

Эта группа критериев используется для оценки химического, бактериологического, механического загрязнения *подземных вод, почв, пород зоны аэрации и донных осадков*. Она охватывает все компоненты литосферы и позволяет определять уровень их **техногенного** загрязнения и интенсивность природных геохимических аномалий.

Для химического загрязнения, включающего фенолы, хлорфенолы и другие химические вещества, тяжелые и другие металлы, нитраты, пестициды и нефтепродукты, оценка уровня загрязнения осуществляется через ПДК или коэффициент суммарной загрязненности (Z_c); для бактериологического — через колититр; механического - через ПДК для взвесей. В тех случаях, когда на загрязнитель (поллютант) отсутствует ПДК (чаще всего это встречается при оценке загрязненности пород зоны **аэрации**, иногда почв и донных осадков), определение степени загрязнения проводится от фоновых значений или кларков, фиксируемых на априори незагрязненных территориях. При этом необходим дифференцированный подход к токсикантам с учетом класса их опасности, определяемым ОСП 72-87.

**Общая оценка эколого-геологических условий
на основе загрязнения компонентов литосферы**

Оценочный показатель	Состояние эколого-геологических условий			
	Удовлетворительно	Условно удовлетворительно	Неудовлетворительно	Катастрофическое
Концентрация всех определяемых элементов и соединений	Фоновая или ниже ПДК	Компоненты 2-го и 3-го классов опасности – в пределах 1-5 ПДК, 1-го класса опасности – на уровне ПДК	Компоненты 2-го и 3-го классов опасности – в пределах 5-10 ПДК, 1-го класса опасности – 1-5 ПДК	Компоненты 2-го и 3-го классов опасности более 10 ПДК, 1-го класса опасности – более 5 ПДК

В общем виде такая оценка осуществляется на основе табл. 20, где дана количественная ранжировка всех определяемых элементов (от ПДК или фона) по четырем классам состояния литосферы и ее компонентов. Предлагаемая таблица позволяет оценить состояние литосферы по любому из загрязнителей или их сумме.

Для отдельных компонентов литосферы существуют более дифференцированные показатели оценки.

Донные осадки. Количественную оценку их эколого-геологического состояния можно проводить на основе серии методических рекомендаций ИМГРЭ. Однако отсутствие собственных тестируемых или нормативных характеристик вызывает необходимость либо обращаться к фоновым показателям как точке отсчета нормального геохимического состава донных отложений, либо использовать ГОСТы и СН, разработанные для почв. Геодинамические и ресурсные показатели для донных осадков вообще не существуют, хотя необходимость их сомнений не вызывает. Примером этому являются сложные экологические проблемы с донными осадками Великих озер Северной Америки, донными осадками практически всех рек в зоне интенсивного техногенного освоения.

Почвы (как первый геохимический барьер). К прямым критериям оценки состояния собственно почвенного покрова относятся характеристики его загрязнения различными токсикантами. Все их многообразие рассмотрено в соответствующих нормативных документах (см. табл. 16).

Анализ публикаций по этому вопросу позволяет предложить укрупненные показатели оценки техногенной загрязненности почв с количественным ранжированием значений по классам состояний (табл. 21).

Подземные воды. Прямые критерии оценки качества подземных вод разработаны; они базируются на требованиях ПДК и СПиН и обеспечены соответствующими нормативно-методическими документами (см. табл. 16). Они дают оценку уровня загрязненности подземных вод с позиций питьевого и технического водоснабжения и рыбоводства. В 1995 г. В.М. Гольдбергом в качестве критерия оценки

Таблица 21

**Укрупненные показатели оценки техногенной загрязненности почвенного покрова
с ранжированием значений по классам состояний (по Б.В.Виноградову)**

Критерий оценки	Состояние эколого-геологических условий			
	Удовлетвори- тельно	Условно удовлет- ворительно	Неудовлетвори- тельно	Катастрофическое
Содержание легко растворимых солей, % мас.	Менее 0,6	0,6-1,0	1,0-3,0	Более 3,0
Содержание токсичных солей, % мас.	Менее 0,3	0,3-0,4	0,4-0,6	Более 0,6
Содержание пестицидов, ПДК	Менее 1,0	1,0-2,0	2,0-5,0	Более 5,0
Содержание загрязнителей, ПДК	Менее 1,0	1,0-3,0	3,0-10,0	Более 10,0
Содержание нефти и нефтепродуктов, % мас.	Менее 1,0	1,0-5,0	5,0-10,0	Более 10,0

подземных вод были предложены площадной показатель и определение точек отсчета для фиксируемых изменений. В качестве первого, для характеристики масштаба загрязнения подземных вод предложен геодинамический критерий оценки - площадь, область загрязнения F (в км^2), а в качестве точек отсчета - качество подземных вод в естественном состоянии C и предельно допустимая концентрация загрязняющих веществ в подземных водах с учетом цели их использования. Таким образом, оценка состояния подземных вод дается по двум прямым критериям: их качеству и площади загрязнения, что нашло отражение в табл. 22, где эти характеристики ранжированы по классам состояния подземной гидросферы.

Таблица 22

Критерии оценки загрязненности подземных вод (по В.М.Гольдбергу)

Оценочный показатель	Класс состояния подземной гидросферы			
	I (нормальное)	II (с негативными изменениями)	III (кризисное)	IV (бедственное)
Соотношение содержания элемента (C) и ПДК	$C < \text{ПДК}$	$C = 3-5 \text{ ПДК}$	$C = 5-10 \text{ ПДК}$	$C > 10 \text{ ПДК}$
Область загрязнения F , км^2	Отсутствует или менее $0,5 \text{ км}^2$	0,5-5,0	5,0-10,0	> 10

В первой зоне (классе) не требуется никаких специальных природоохранных мер, кроме соблюдения законодательства и осуществления контроля за качеством подземных вод. Во второй зоне необходимы ограничительные меры, а в третьей и четвертой зонах – незамедлительное осуществление специальных защитных мер.

Геофизическая группа критериев

Практически для всех геофизических полей – электромагнитного, вибрационного, геомагнитного – можно говорить только о пороговых значениях прямых критериев оценки (в кВ/м, В/м), выраженных через ПДУ (предельно допустимые уровни). Они отражают гигиеническое нормирование (норматив) биологического воздействия электрических и электромагнитных полей, неблагоприятно влияющих на человеческий организм.

Выделяются следующие предельные значения напряженности электромагнитного поля для населения (в кВ/м): в пределах жилой застройки – 0,5; на пересечении ЛЭП с автодорогами – 1,0. ПДУ напряженности электромагнитного поля для населенных мест с учетом диапазона радиоволн составляют (в В/м): длинных (частота 0,3–300,0 кГц, длина 10–1 км) – 20; средних (частота 0,3–3,0 мГц, длина 1,0–0,1 км) – 10; коротких (частота 3–30 мГц, длина 100–10 м) – 4; ультракоротких (частота 30–300 мГц, длина 10,0–1,0 м) – 2. Для магнитных полей по данным зарубежных исследователей допустимая напряженность магнитного поля, в котором может находиться человек, не должна превышать 50 000 нТл, т.е. напряженности геомагнитного поля Земли.

Для вибрационных полей положение с критериями оценки их воздействия на биоту еще более сложное, так как резонансные частоты отдельных частей тела человека отличаются между собой на 10–20 Гц и, кроме того, зависят от виброперемещения (мм), частоты (Гц) и виброускорения (см/с²). Все эти характеристики должны входить в состав критериев оценки. По мнению Г.С.Вахромсева, неблагоприятное воздействие на человека оказывает вибрация с частотами 1–30 Гц.

Исходя из сказанного можно констатировать:

критериями оценки аномальных и биологически негативных воздействий геофизических полей являются прямые критерии оценки их уровня напряженности и частоты колебаний;

узаконенных (нормативных значений) предельно допустимых уровней пока нет. Их значения регламентированы научными проработками и правилами техники безопасности для некоторых полей;

вопросы градации этих полей по уровню воздействия на биоту требуют дальнейших разработок.

Как уже отмечалось, оценка действия ионизирующей радиации на живые организмы оценивается либо в грях (Гр), т.е. поглощенной дозой, либо в зивертах (Зв), т.е. эффективной эквивалентной дозой. Однако для компонентов литосферы наиболее часто используются так называемые внесистемные единицы – кюри (Ки),

Характеристики ионизирующего излучения

Величина	Система единиц СИ	Внесистемная единица	Соотношение между единицами
Активность	Беккерель (Бк), равен одному распаду в секунду	Кюри (Ки), равно $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп/с} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Экспозиционная доза	Кулон на килограмм (Кл/кг) – экспозиционная доза фотонного излучения, при которой корпускулярная эмиссия в сухом воздухе массой 1 кг производит ионы, несущие заряд каждого знака, равный 1 Кл	Рентген (Р) – доза фотонного излучения, при которой корпускулярная эмиссия, возникающая в 1 см ³ воздуха, создает ионы, несущие 1 СГСЕ количества электричества каждого знака	$1 \text{ Кл/кг} = 3,38 \cdot 10^3 \text{ Р}$ $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная доза	Грэй (Гр) соответствует поглощенной энергии 1 Дж ионизирующего излучения любого вида, переданной облученному веществу массой 1 кг	Рад (рад) соответствует поглощенной энергии 100 эрг на 1 г вещества	$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 10^4 \text{ эрг/г} = 100 \text{ рад}$
Эквивалентная доза	Зиверт (Зв) – эквивалентная доза любого вида излучения, поглощенная в 1 кг биологической ткани, создающая такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр фотонного излучения	Бэр (бэр) – энергия любого вида излучения, поглощенная в 1 г ткани, при которой наблюдается тот же биологический эффект, что и при поглощенной дозе в 1 рад фотонного излучения	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$ $1 \text{ бэр} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Зв} = 10 \text{ мЗв}$

рентген (Р). Их содержательное значение и соотношения между ними приводятся в табл. 23.

В соответствии с основными положениями законодательства Российской Федерации о статусе загрязненных территорий установлено пороговое значение среднегодовой эффективной эквивалентной дозы облучения в 1 мЗв (0,1 бэр), которому соответствует плотность радиоактивного загрязнения почв и пород Cs-137 в 1 Ки/км² (разработки АН СССР для районов, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, утвержденные правительством Российской Федерации 17 мая 1991 г.). Ниже этих значений условия проживания и трудовая деятельность населения не требуют ограничений. По нашей терминологии это класс удовлетворительного состояния эколого-геологических условий. На территориях, где плотность радиоактивного загрязнения почвы Cs-137 превышает указанный норматив, выделяется еще ряд зон с разными условиями проживания населения (табл. 24).

В 1997 г. вышел в свет нормативный документ - "Свод правил по инженерно-экологическим изысканиям для строительства" (СП-11-102-97), в котором приве-

**Соотношение зон отселения и ограничения проживания
с классами состояния эколого-геологических условий
приповерхностной части литосферы**

Зона по концепции АН СССР	Оценочные критерии			Класс состояния эколого- геологических условий
	Cs-137	Sr-90	Pu-239	
Отчуждения (запрещено постоянное проживание)	Более 40 Ки/км ²	—	—	Катастрофический
Отселения (население подлежит отселению)	40-15 Ки/км ²	Более 3 Ки/км ²	Более 0,1 Ки/км ²	
Проживания с правом на отселение (постоянный медицинский контроль, обязательные защитные мероприятия)	Более 5 мЗв (0,5 бэр)	—	—	Неудовлетворительный
	15-5 Ки/км ²	—	—	
Проживания с льготным социально-экономическим статусом	Более 1 мЗв (0,1 бэр)	—	—	Условно удовлетворительный
	5-1 Ки/км ²	—	—	
Нерегламентированного проживания	Менее 1 мЗв (менее 0,1 бэр)	—	—	Удовлетворительный
	Менее 1 Ки/км ²	—	—	
	Менее 1 мЗв (менее 0,1 бэр)	—	—	

дены количественные критерии оценки при исследовании радиационной обстановки, увязанные с Федеральным Законом "О радиационной безопасности населения" и Законом РСФСР "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения". В нем территории со среднегодовым значением эффективной дозы облучения (сверх природного фона) в диапазоне 5-10 мЗв/год отнесены к зоне чрезвычайной экологической ситуации (зоне кризиса), а более 10 мЗв/год - к зоне экологического бедствия. Другими словами - ранжирование радиационного поля и дозы облучения обеспечены прямыми количественными характеристиками.

Литература

Вельтицев Ю.Е., Фокеева В.В. Экология и здоровье детей, химическая экотология // Российский Вестник перинатологии и педиатрии. Лекция № 9. - М., 1999. — 57 с.

Протасов В.Ф. Экология, здоровье и охрана окружающей среды в России. Учебное и справочное пособие. - М.: Финансы и статистика, 1999. - 671 с.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т.Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432 с.

ГЛАВА 4

ПОЛОЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК И ЕЕ СООТНОШЕНИЕ С ГЕОЭКОЛОГИЕЙ

4.1. Положение экологической геологии в теоретическом геологическом знании

Вопрос соотношения наук всегда был и остается достаточно сложным и дискуссионным, даже в рамках одного научного направления. Это обусловлено несколькими причинами. Во-первых, он затрагивает как базовые теоретические основы рассматриваемых наук, их логическую структуру, так и прагматические аспекты в части задач, решаемых той или иной наукой. Во-вторых, любая наука является динамичным образованием, динамичной системой, проходящей несколько стадий (ступеней) развития. По В.В.Милашевичу и Е.В.Краснову, это образовательная, познавательная, производительная и экологическая, а по И.В.Крутю - зарождения, становления и развития. Общим правилом для всех наук является смена дифференциации на начальных стадиях развития интеграционными процессами на последующих. Сказанное в полной мере касается наук о Земле и, в частности, геологии. Так, в эпоху средневековья геология в науках о Земле была представлена одной минералогией. На последующих этапах она стала включать девять самостоятельных геологических наук и учений о геосферных оболочках Земли. В настоящее время стало заметным проявление интеграционных тенденций в геологии, выражающихся в консолидации исследований не по отдельным "наукам", а по отдельным проблемам. На этом фоне и следует рассматривать положение экологической геологии в системе теоретического геологического знания.

Вопрос о положении экологической геологии в системе геологических наук объективно не имеет пока однозначного решения. Это обусловлено не только относительной "молодостью" экологической геологии как нового научного направления в науках геологического цикла, но и отсутствием единых представлений об объекте и предмете ее исследования и попытках решать экологические проблемы литосферы в рамках традиционных геологических наук и, в первую очередь, таких как инженерная геология, гидрогеология, геокриология, геофизика и геохимия. Все это порождает многовариантное решение проблемы и многообразие мнений. Публикации последних лет, посвященные теоретическим и методологическим основам экологической геологии, позволяют более однозначно подойти к пониманию рассматриваемой проблемы. Критериальными позициями такого подхода, являются представления о логической структуре экологической геологии, экологических функциях литосферы и экологически ориентированном круге решаемых задач.

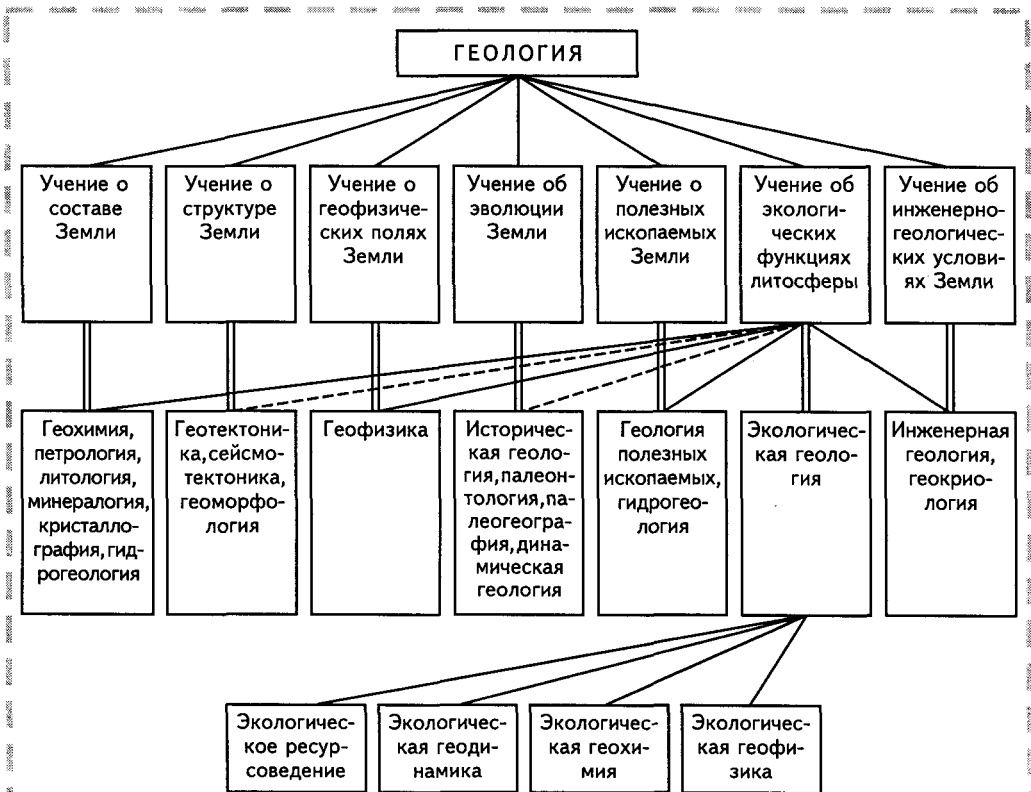


Рис.7. Положение экологической геологии и ее научных разделов в системе геологических наук (по В.Т.Трофимову и Д.Г.Зилингу, 1998)

Изложенные выше представления позволяют предложить структурную схему научных направлений (учений) в области геологии с показом места в этой системе *экологической геологии* как *теоретического знания* (рис. 7). Выделение первых шести учений в составе геологии является общепризнанным и не нуждается в обосновании. А вот выделение в их ранге учения об экологических функциях литосферы требует аргументации. Главным аргументом в пользу этого является все возрастающая роль экологических теоретических проблем, связанных с изучением Земли и литосферы в эпоху активного техногенеза. Именно уровень современного техногенного воздействия на геосферные оболочки Земли повысил статус эколого-геологического учения в геологии, обусловил его обособление в качестве самостоятельного научного направления в геологии, объективно поставив его в один ряд с учениями о составе, структуре, динамике и геофизических полях Земли и литосферы.

Подчеркнем, что за каждым из выделенных учений стоит свой комплекс геологических наук (см. рис. 7), который своими научными теориями, законами и методами изучения обеспечивает дальнейшее развитие данного учения. Так, учение об экологических функциях литосферы, помимо собственно экологической геоло-

гии, тесно связано с инженерной геологией, геокриологией, гидрогеологией, геохимией, геофизикой и геологией полезных ископаемых (на рис. 7 – сплошные линии). С другими геологическими науками эти связи выражены менее тесно. При таком подходе экологическая геология выступает в качестве научного направления в геологии, изучающего экологические функции литосферы и синтезирующего в себе все знания геологических наук по этому вопросу.

4.2. Прикладные разделы экологической геологии

В составе экологической геологии в качестве ее практических (прикладных) разделов можно рассматривать экологическую геологию территорий влияния: городов (городских агломераций), месторождений полезных ископаемых, мелиоративных объектов и т.п. (рис. 8).

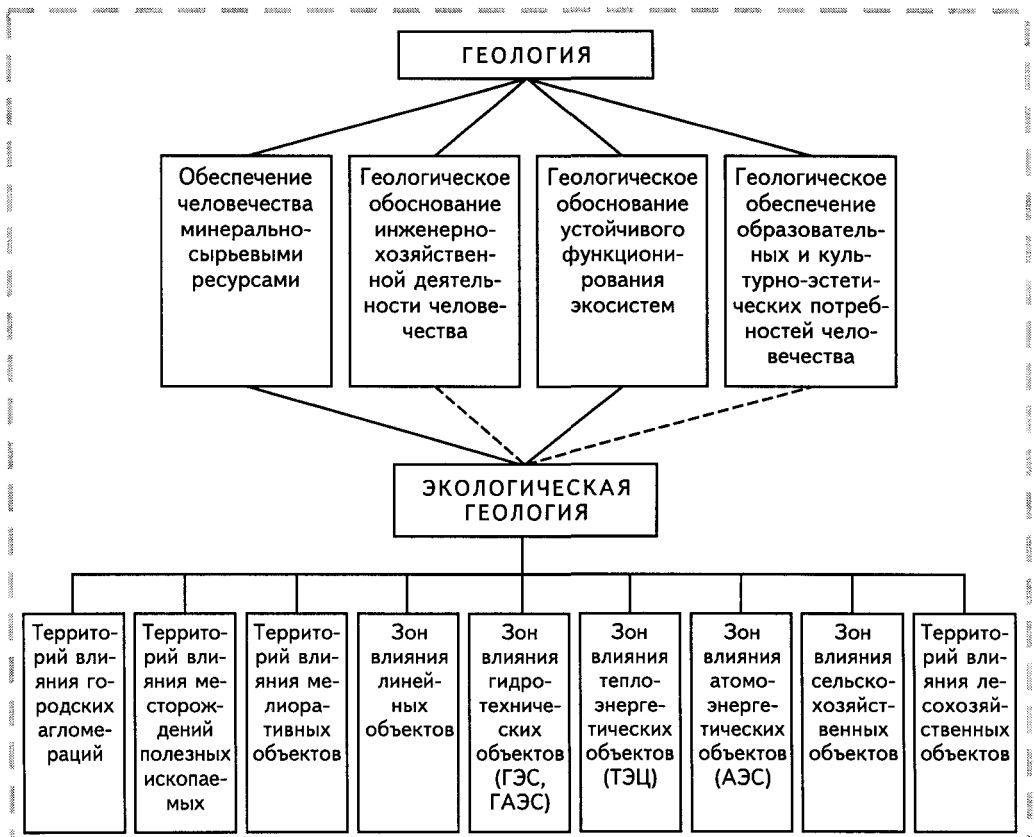


Рис. 8. Практические разделы экологической геологии, обеспечивающие нормальное развитие и функционирование человеческого сообщества (по В.Т.Трофимову и Д.Г.Зилингу, 1998)

Принципиально важно подчеркнуть, что экологическая геология применительно ко всем видам хозяйственной деятельности предусматривает оценку ее экологического воздействия на литосферу и биоту не только на стадии возведения хозяйственного объекта, но и на весь период его эксплуатации и консервации. При этом *площади изучения значительно шире, чем рамки официального землеотвода*, и охватывают обширную зону, в пределах которой установлено или предполагается воздействие объекта на экологические свойства литосферы.

Все перечисленные виды народно-хозяйственной деятельности отличаются между собой интенсивностью, глубиной и характером воздействия на литосферу. Это касается ее минерально-сырьевых ресурсов, активизации геологических процессов и развития геопатогенных геохимических и геофизических зон природного и техногенного происхождения.

Совершенно очевидно, что наибольшее воздействие на литосферу и ее экологические функции оказывают крупные городские агломерации и предприятия горно-добывающей промышленности (шахты, карьеры, разрезы), нефтегазовые промыслы, сосредоточенные в ряде горно-добывающих бассейнов и месторождений. Для городских агломераций это обусловлено высокой удельной концентрацией людей, большими объемами жилых массивов, транспортных коммуникаций, транспорта, крупных промышленных, топливно-энергетических предприятий и комплексов, а также подземной урбанизацией городских территорий. Как следствие - интенсивное загрязнение подвижными токсическими соединениями почв, приповерхностной части литосферы и гидросферы, развитие геопатогенных геофизических аномалий за счет изменения энергетики тепловых, гравитационных, электромагнитных и сейсмоакустических полей, загрязнение территории тяжелыми металлами из выхлопных газов автотранспорта, изменении гидродинамического и гидрогеохимического режима подземных вод, а также сработка их запасов. Для горно-добывающих районов экологически ориентированные изменения литосферы связаны с изъятием минерально-сырьевых ресурсов, изменением гравитационного поля, созданием аномальных пластовых давлений, коренной трансформацией гидродинамических параметров подземных вод, появлением ареалов интенсивного техногенного загрязнения, сокращением ресурсов геологической среды. Для линейного строительства неблагоприятные экологические последствия, в первую очередь, будут связаны с активизацией негативных геологических процессов, развитием линейных ареалов техногенного загрязнения и наведенных аномальных геофизических полей.

Перечень специфики изменения экологического состояния литосферы под воздействием разных видов хозяйственной деятельности можно было бы продолжить, но и сказанного достаточно, чтобы сделать определенные выводы. Каждый вид хозяйственной деятельности вызывает определенный комплекс изменений экологических свойств литосферы, что требует применения для их изучения своей группы теорий и методов ряда наук геологического цикла. Для городских агломераций, воздействующих на все экологические функции и свойства литосферы, набор методов геологических наук комплексный, охватывающий практически все

науки, отмеченные выше. Для линейного строительства перечень геологических наук и их методов будет определяться необходимостью изучения, в первую очередь, геодинамической, геофизической и геохимической функций литосферы. При разработке месторождений полезных ископаемых акцент в исследованиях сдвигается ко всем аспектам ресурсной функции литосферы, изучению геофизико-геохимических аномалий и определенной группы геологических процессов.

4.3. Связь экологической геологии с естественными, медицинскими и социально-экономическими науками

Экологическая геология как наука связана с широким кругом геологических и негеологических наук (рис. 9). Принципиально важной является связь экологической геологии с биологическими и медицинскими науками. Из этого следует вывод: геологи, занимающиеся геологическим обоснованием решения экологических задач, неизбежно должны тесно взаимодействовать и при теоретических, и практических работах с представителями этих наук и служб.

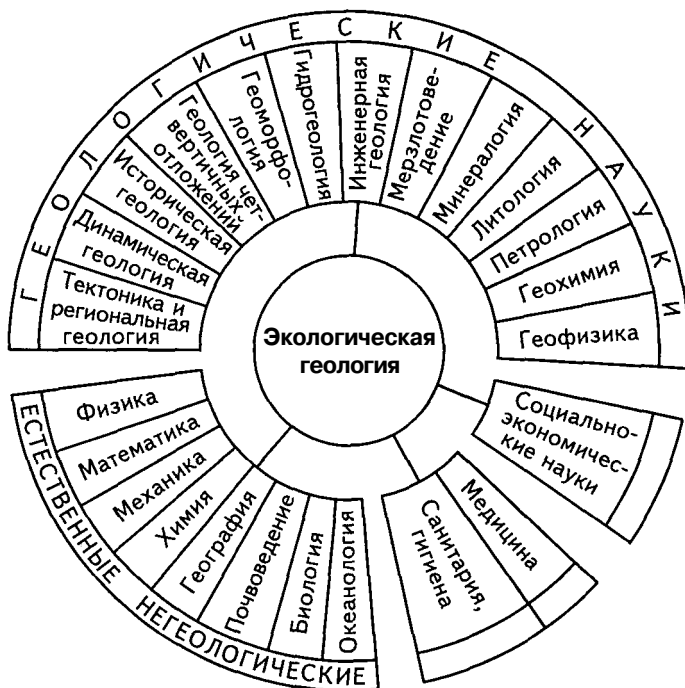


Рис. 9. Связь экологической геологии с естественными, медицинскими и социально-экономическими науками

Рассмотрение этого вопроса носит принципиальный характер, так как затрагивает не только теоретические и методологические аспекты, но и сугубо практические, связанные с решением конкретных экологических задач. Следует отметить, что, несмотря на значительное количество публикаций, в которых затрагивались представления о содержании этих дисциплин и их различиях, до настоящего времени ряд исследователей воспринимает понятия (термины) *экологическая геология* и *геоэкология* как синонимы или как термины свободного пользования с нестабильным и субъективным смысловым толкованием.

Термин *геоэкология* был впервые введен К.Тролем в 1939 г. для придания термину *ландшафтоведение* экологической направленности, что, по мнению географов А.Г.Воронова, П.Н.Дроздова и др. (1999), свидетельствует о синтезе биогеографии и экологии и формировании новой науки - *экологии ландшафтов*, или *геоэкологии* - в первой половине XX в. Постепенно он, но уже с другой смысловой нагрузкой, стал использоваться в других естественных науках, потерял свою четкость и стал по сути термином свободного пользования. Только в публикациях геологов можно выделить не менее трех толкований этого термина и, соответственно, его применения.

Первое из них связано с широким и биологически ориентированным пониманием этого термина. Его наиболее четко сформулировал Е.А.Козловский в 1989 г.: *геоэкология* - это "новое научное направление, возникшее на стыке геологии и экологии и изучающее закономерные связи между живыми организмами (в том числе и человеком), техногенными сооружениями и геологической "средой". Объектом изучения *геоэкологии* при таком подходе является геоэкологическая система. При таком определении речь идет об изучении не только абиотических сфер Земли, но и живого вещества через экосистемы различных уровней организации. Этот подход назван нами геобиосферным.

Второе направление связано с сугубо литосферным (геологическим) толкованием термина *геоэкология*. К.И.Сычев (1991) писал: "*Геоэкология* - новое научное направление, возникшее в 80-х годах на стыке геологии и экологии. Это междисциплинарная и общепланетарная наука, изучающая в естественных и техногенно нарушенных природных условиях закономерные изменения в литосфере, происходящие под действием внутренних (эндогенных) сил Земли и внешним влиянием атмосферы, гидросферы, биосферы и техносферы". По определению Г.А.Голодковской, "новое направление в геологии, изучающее взаимодействие геологической среды с другими внешними средами (атмосферой, гидросферой, педосферой, биосферой), а также социотехносферой", следует называть *инженерной геоэкологией*. Объектом изучения при реализации второго подхода является геологическая среда во взаимодействии с внешними средами, но основной акцент делается на изучение геологической среды в связи с хозяйственной деятельностью человека.

Третье направление связано с геосферным толкованием термина *геоэкология*. В наиболее полном и завершенном виде этот подход рассмотрен в публикациях В.И.Осипова (1997). Он *геоэкологию* определяет как "...междисциплинарную науку, изучающую неживое (абиотическое) вещество геосферных оболочек Земли как компоненту окружающей среды и минеральную основу биосферы". Объектом изучения являются все абиотические геосферные оболочки Земли, а акцент делается на изменение геосфер под влиянием техногенных факторов.

В.Т.Трофимовым и Д.Г.Зилингом в 1994 г. было предложено иное толкование термина *геоэкология* - биологически ориентированное, с четким биоцентрическим подходом. Под *геоэкологией* ими понимается "...междисциплинарная наука, изучающая состав, структуру, закономерности функционирования и эволюции естественных (природных) и антропогенно преобразованных экосистем высокого уровня организации (от биогеоценоза и выше)". Объектом изучения являются экосистемы высокого уровня организации, а акцент делается на воздействие "неживого" на "живое". Такое толкование термина *геоэкология* созвучно взглядам академика Б.С.Соколова (1995), который считает *геоэкологию* понятием биологическим (разделом экологии, исследующим экосистемы высокого уровня организации), а не геологическим; в геологические науки оно перенесено совершенно механически и наделено совершенно иным содержанием.

Изменилось первичное толкование термина *геоэкология* и у географов. Так, Г.Н.Голубев (1999) под этим термином понимает "...междисциплинарное научное направление, изучающее экосферу как взаимосвязанную систему геосфер в процессе ее интеграции с обществом". Объектом изучения является экосфера (экосистема высшего порядка) с акцентом на ее изменение под влиянием деятельности человека.

Можно констатировать, что большинство определений термина *геоэкология* разделяет отношение авторов к биоте и техногенезу, а объединяет междисциплинарный статус науки и геосферный объект изучения. Если рассматривать *геоэкологию* как междисциплинарную науку (с чем все согласны) о взаимодействии геосфер Земли с биотой и человеческим сообществом, то она должна включать в качестве составных частей экологическую геологию, экологическую географию и экологическое почвоведение (см. рис. 1).

Исходя из этого следует еще раз подчеркнуть, что *экологическая геология* занимает более низкую иерархическую ступень по сравнению с геоэкологией, является составной частью, разделом геоэкологии. На ее долю приходится изучение экологических функций только одной абиотической геосферной оболочки Земли - литосферы. Этим и определяется ее соотношение с геоэкологией, претендующей на изучение всех абиотических геосферных оболочек Земли (по В.И.Осипову), а по мнению некоторых специалистов, и биосферы, а точнее экосистем высокого уровня организации.

Решение соотношения геоэкологии и экологической геологии видится в их объективной оценке на основе сопоставления этих дисциплин по единым критериям. К таковым относятся их статус, логическая структура, решаемые задачи,

Сравнение содержания, объекта, предмета и задач геоэкологии и экологической геологии

Показатели сравнения	Геоэкология (по В.Т.Трофимову и Д.Г.Зилингу, 1994, 1997)	Экологическая геология	Геоэкология (по В.И.Осипову, 1993, 1997)
Статус дисциплины	Междисциплинарная наука	Научное направление в геологии	Междисциплинарная наука
Объект исследования	Экосистемы высокого уровня организации	Литосфера как биотоп экосистемы	Геосферные оболочки Земли
Предмет исследования	Знания (система данных) о функционировании экосистем высокого уровня организации	Знания (система данных) об экологических функциях литосферы: ресурсной, геодинамической, геохимической и геофизической	Знания (система данных) о геосферных оболочках Земли и их изменениях под влиянием природных и техногенных факторов
Логическая структура дисциплины	В основе логическая структура экологии (концепция экосистемы) и части логических структур наук о Земле	Мозаичная, состоит из частей логических структур всех современных геологических наук и собственно логической части структуры экологической геологии	Мозаичная, состоит из логических структур геологических, географических и педологических наук
Основные решаемые задачи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение изменений экосистем и их функционирования под влиянием эволюции природы и техногенеза 2. Разработка теории и методов оценки устойчивости экосистем к техногенным воздействиям 3. Разработка методов и способов управления состоянием и свойствами экосистем высокого уровня организации с целью сохранения их функциональной деятельности 4. Соучастие в разработке экологических чистых и безотходных технологий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение экологических функций литосферы, закономерностей их формирования и изменения под влиянием эволюции природы и техногенеза 2. Разработка теории и методов оценки устойчивости приповерхностной части литосферы к техногенным воздействиям с точки зрения изменения ее экологических функций 3. Разработка методов и рецептур управления состоянием и свойствами массивов приповерхностной части литосферы с целью сохранения их экологических функций 4. Разработка методов и рецептур утилизации экологически опасных промышленных отходов и выбор оптимальных (по геологическим условиям) участков массивов для их захоронения с целью наименьшего ухудшения экологических свойств территорий 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение геосферных оболочек Земли как компоненты окружающей среды и минеральной основы биосферы 2. Изучение изменения геосфер под влиянием природы и техногенных факторов 3. Снижение ущерба окружающей среде от природных и природно-техногенных катастроф и обеспечение безопасного проживания людей

<p>Прикладные задачи</p>	<p>5. Обоснование природоохранных мероприятий для защиты экосистем от воздействия негативных и катастрофических природных и антропогенных процессов</p>	<p>5. Разработка теории и методов геологического обоснования инженерной защиты территории, объектов и сооружений от природных и антропогенных геологических процессов, снижающих ее экологические функции</p>	<p>Рациональное использование водных, земельных, минеральных и энергетических ресурсов Земли</p>
<p>Оценка состояния объекта исследования</p>	<p>1. Обоснование рационального природопользования для нормального функционирования экосистем</p> <p>2. Изучение влияния техногенного загрязнения природных сред на биоту</p> <p>3. Соучастие в управлении экосистемами с обеспечением экологических, социально-экономических, нравственных, культурно-исторических и медико-биологических требований</p> <p>Классы состояния экосистемы</p>	<p>1. Обоснование рационального использования ресурсов литосферы для нормального функционирования экосистем</p> <p>2. Установление влияния техногенного загрязнения приповерхностной части литосферы на биоту</p> <p>3. Геологическое обоснование для разработки и принятия решений по управлению биотопом экосистем или экосистемами</p> <p>Классы состояния литосферы и ее компонентов с точки зрения жизнеобеспечения биоты (сохранения экологических функций)</p>	
<p>Критерии и показатели оценки экологического состояния</p>	<p>Ухудшение видового состава, состояния и сокращения ареалов первичной растительности. Индекс разнообразия Симсона. Заболевания и падеж диких и домашних животных. Изменение численности и видового состава животных и ареалов их обитания. Ухудшение здоровья и увеличение заболеваний населения. Изменение плодородия почв (в % от потенциального). Это наиболее общие (интегральные) тематические показатели, характеризующие состояние экосистемы через изменчивость ее наиболее динамичных биотических компонентов</p>	<p>Как правило, частные, реже обобщенные оценки количественного характера, позволяющие получить представление об измененности компонентов литосферы по сравнению с ПДК, фоном, кларками, площадной пораженности процессами с оценкой их интенсивности. Площади ареалов техногенного загрязнения, сработка ресурсов вод питьевого и технического назначения и т.д. Это показатели состояния абиотических сред (сфер), позволяющие раскрыть причины и динамику нарушения функций экосистем высокого уровня организации (ее биотической составляющей)</p>	

критерии и показатели оценки экологического состояния литосферы. Такое сравнение дается в табл. 25.

Анализ сопоставительной таблицы позволяет утверждать:

1. Экологическая геология рассматривает экологические проблемы, обусловленные влиянием литосферы и ее основных компонентов на биоту, включая человеческое сообщество. Она обеспечивает медико-биологические, социально-экономические науки и проектно-строительную деятельность экологически ориентированной геологической информацией, необходимой для разработки мероприятий по управлению системой и обоснования принимаемых природоохранных решений и действий.

2. Геоэкология в рассматриваемой трактовке по содержанию отличается от экологической геологии практически по всем показателям сравнения, начиная от научного статуса и кончая уровнем и характером решаемых задач, она существенно шире экологической геологии. Следовательно, эти понятия нельзя ни отождествлять между собой, ни подменять одно другим. Это неизбежно приведет к терминологической путанице и затруднит разработку экологической проблематики в геологии.

Литература

Голубев Г.Н. Геоэкология. - М.: ГЕОС, 1999. - 337 с.

Осипов В.И. Геоэкология: понятия, задачи, приоритеты // Геоэкология, 1997. - № 1. — С. 3-11.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

Трофимов В.Т., ЗилингД.Г. Инженерная геология и экологическая геология: теоретико-методологические основы и взаимоотношение.-М.: Изд-во Моск. ун-та, 1999. — 120с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т.Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432 с.

ЧАСТЬ II

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА

ГЛАВА 5

РЕСУРСНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

5.1. Определение, значение и структура ресурсной экологической функции литосферы

Под ресурсной экологической функцией литосферы мы понимаем, как уже показано ранее, роль минеральных, органических, органоминеральных ресурсов литосферы, а также ее геологического пространства для жизни и деятельности биоты как в качестве биоценоза, так и человеческого сообщества как социальной структуры. Объектом изучения при таком подходе являются особенности состава и строения литосферы со всеми их компонентами, влияющими на возможность и качество существования биоты, а предметом - знания о сырьевом потенциале литосферы, пригодности ее пространства для проживания биоты (включая человека как биологического вида) и развития человечества как социальной структуры.

Предложенное понимание ресурсной экологической функции литосферы определяет ее лидирующее, базовое положение по отношению к геодинамической, геохимической и геофизической функциям. Она не только определяет комфортность "проживания биоты", но и саму возможность ее существования и развития. Ресурсная функция органически связана с другими экологическими функциями литосферы. Любые катастрофические ситуации антропогенного и природного происхождения с экологических позиций следует рассматривать как через оценку процессов (геологических, физико-химических, геофизических), влияющих на комфортность проживания биоты и медико-санитарные условия, так и

через потери минерально-сырьевых ресурсов литосферы и объема геологической среды, пригодных для расселения и хозяйственного использования. Представляется, что именно по этому комплексному пути следует идти при оценке экологической ситуации той или иной территории. Анализ события, явления, процесса через экологические функции литосферы не приведет к дублированию или механическому наложению информации, а позволит всесторонне раскрыть сущность явления и его экологические последствия. Игнорирование такой схемы анализа, как показали реалии современной жизни, заканчивается ошибочными решениями и малоэффективными прогнозами. Любые экологические оценки без учета ресурсной составляющей во всех ее аспектах будут неполноценны и чреваты негативными последствиями. Именно ресурсная функция литосферы наиболее тесно связана с социально-экономическими проблемами человеческого сообщества и призвана обеспечить разработку геологического обоснования решений социально-экономической ориентации той или иной территории.

К оценке ресурсной экологической функции литосферы можно подходить с глобальных (стратегических) и локальных (тактических) позиций. В стратегическом плане должны исследоваться тенденции, связанные с истощением планетарных ресурсов и увязанные с ростом народонаселения. Как справедливо отмечал Г.А.Богдановский (1994), анализ этих тенденций - проблема сложная и требующая введения новых понятий и определений, таких как "поддерживающая емкость среды", а в нашем случае - литосферы. Под этим термином он предлагал понимать максимальную поддерживающую емкость среды как количество биомассы, которое может поддерживаться в условиях равенства положительной и отрицательной отдачи в системе (в нашем случае в эколого-геологической системе). Положительная отдача связана с развитием, расширением и повышением устойчивости экосистем, а отрицательная с "откачкой" неизбежного при этом беспорядка и возрастающей энтропии. Такое взаимодействие привлекаемой энергии в виде ресурсов и снижение возрастающей при этом энтропии в соответствии с классической термодинамикой неравновесных систем применительно к экосистемам обеспечивает сохранение ими своих структурных и функциональных характеристик.

Другим важным фактором, влияющим помимо ресурсов на стабильность системы, является рост населения. Но эта проблема выходит за рамки нашего рассмотрения.

Анализ ресурсов литосферы с указанных позиций составляет одну из важнейших теоретических проблем, четко регламентированных целевым содержанием ресурсной экологической функции - обоснование обеспечения путем оценки и регуляции поддерживающей емкости эколого-геологической системы устойчивого функционирования экосистем в целом. Практическая реализация изложенного положения - задача весьма сложная и в настоящее время недостаточно разработанная. Однако роль именно эколого-геологического обоснования управляющих решений в части минерально-сырьевых ресурсов планеты достаточно прозрачна и, в основном, сводится к оценке остаточных запасов и регламентации их использования, или к рациональному использованию природных минерально-сырьевых

ресурсов. Она неразрывно связана не только с оценкой разведанных запасов сырья, но и с проблемами вторичного использования отходов горно-добывающего производства, рекультивации земель и возврата их в земельный фонд.

Вторым теоретическим аспектом рассматриваемой проблемы являются представления об истощаемости минерально-сырьевых ресурсов и экологической емкости геологического пространства. А это заставляет совершенно с других позиций относиться к роли и значимости ресурсов литосферы в функционировании экосистем высокого уровня организации и, особенно, в развитии человеческого сообщества, в его социально-экономической сфере. Так, по оценкам Г.С.Вахромеева (1995), за один год извлекается из недр около 100 млрд т минерального сырья, а динамика их количественного состава такова: в XVIII в. извлекалось 18 химических элементов и соединений, в XIX в. - 35, в 1917 - 64, в 1975 г. - 87, а сейчас - все 104 элемента таблицы Д.И.Менделеева. По прогнозам некоторых экономистов запасы многих видов минерального сырья (при современных технологиях их получения) иссякнут к 2050 г., а свинца и цинка хватит на начало XXI в.

Рассматривая геологическое пространство, необходимое для расселения и существования биоты, как ресурс литосферы, следует констатировать, что и здесь его резервы лимитированы. Уже в настоящее время на нашей планете освоено 56% поверхности суши. Интенсивно осваивается подземное пространство литосферы в пределах урбанизированных территорий и в местах захоронения и складирования экологически опасных (токсичных и радиоактивных) отходов.

Практическая реализация регулирования использования ресурсов литосферы должна осуществляться, главным образом, в пределах отдельных государств, крупных регионов, т.е. в региональных масштабах. При этом главный акцент в исследованиях и действиях - рациональное недропользование. Надо сказать, что проблема эта не новая, ей занимается целый ряд институтов Министерства природных ресурсов России, Министерства топлива и энергетики России, специалисты в области экономических наук. Однако идеология проводимых ими исследований, целесообразность того или иного решения в отношении природных, в том числе и минерально-сырьевых ресурсов, носит до сих пор, главным образом, экономическую или социально-экономическую направленность. Как правило, еще недавно они завершались констатацией той или иной ситуации без надлежащей оценки ее экологических последствий в ближайшем, а тем более отдаленном будущем. С экологических позиций такую идеологию недропользования можно назвать "прагматической", особенно ярко проявляющейся в последние годы. Это касается не только извлечения полезных ископаемых и оценки их запасов, но и вопросов полноты отработки месторождений и комплексности извлекаемых из пород элементов. Нам представляется, что экологически ориентированная оценка этой информации и есть основное направление исследований в рамках изучения ресурсной функции литосферы. Суть вопроса не в подмене традиционно проводимых исследований в отношении недропользования, а в иной идеологии их оценки и интерпретации, ориентированной на нормальное и долговременное функционирование и развитие человеческого сообщества, экосистемы в целом. Такой подход

потребуется выработки новых, экологически ориентированных критериев оценки ресурсов литосферы. Понятно, что на начальном этапе исследований не может быть готовых и апробированных решений по тому или иному вопросу, это дело ближайшего будущего.

Ресурсная функция литосферы довольно многогранна и включает в себя следующие основные категории: минеральные ресурсы литосферы, необходимые для жизни биоты (исключая человеческое сообщество как социальную структуру); минеральные ресурсы, необходимые для человеческого сообщества как социальной структуры; ресурсы геологического пространства - площадные и объемные ресурсы литосферы, необходимые для расселения и существования биоты, включая человека как биологический вид и человечества как социальную структуру (см. рис. 3).

Первые две категории связаны с изучением и оценкой минеральных, органических и органоминеральных ресурсов литосферы, включая подземные воды, которые в дальнейшем мы будем обозначать термином "минеральные ресурсы". Последний вид ресурсов обусловлен экологической емкостью геологического пространства, охватывающего приповерхностную часть литосферы как в площадном, так и в объемном измерении.

5.2. Ресурсы литосферы, необходимые для жизни биоты

Ресурсы литосферы, необходимые для жизни биоты, включая человека как биологический вид, представлены четырьмя составляющими:

горными породами, включающими в себя элементы биофильного ряда - растворимые элементы, жизненно необходимые организмам и называемые биогенными элементами;

кудюритами - минеральным веществом кудюров, являющихся минеральной пищей животных - литофагов;

поваренной солью (NaCl);

подземными водами.

Биофильные элементы литосферы

Характеристика этих элементов и их роль в обеспечении жизни и существования биоты подробно рассмотрены Г.А.Богдановским (1994), В.В.Ивановым (1994-1997) и другими исследователями. Перечень элементов, составляющих основу биофильного ряда, следует из данных, приведенных в табл. 26 и 27.

Элементы и их соединения, требующиеся биоте в больших количествах, называют *макробиогенными* (углерод, кислород, азот, водород, кальций, фосфор, сера), а в малых количествах - *микробиогенными*. Для растений - это Fe, Mg, Cu, Zn, B, Si, Mo, Cl, V, Ca, которые обеспечивают функции фотосинтеза, азотного обмена и метаболическую функцию. Для животных требуются как перечисленные эле-

Таблица 26

Средний химический состав белков, жиров и углеводов, % (по Г.А.Богдановскому)

Элемент	Белки	Жиры	Углеводы
Кислород	23,40	17,90	49,38
Углерод	51,30	69,05	44,44
Водород	4,90	10,00	6,18
Фосфор	0,70	2,13	—
Азот	17,80	0,61	—
Сера	0,80	0,31	—
Железо	0,10	-	—

Таблица 27

Средний химический состав растения и человека, % сухого вещества
(по Г.А.Богдановскому)

Элемент	Человек	Люцерна
Углерод	48,30	45,37
Кислород	23,70	41,04
Азот	12,85	3,80
Водород	6,05	5,54
Кальций	3,45	2,31
Сера	1,60	0,44
Фосфор	1,58	0,28
Натрий	0,65	0,16
Калий	0,55	0,91
Хлор	0,45	0,28
Магний	0,10	0,33

менты (кроме бора), так и дополнительно селен, хром, никель, фтор, йод и олово. Несмотря на малые количества, все эти элементы необходимы для жизнедеятельности биосистем, для реализации биогеохимических функций живым веществом.

По оценкам А.П.Авцына и А.А.Жаворонкова (1993), для нормального развития и функционирования живых организмов (или как пишут авторы - "некоторых форм жизни") требуется порядка 27 химических элементов. Из них 11 они относят к макроэлементам (С, Н, О, N, Ca, S, P, Na, K, Mg, Cl) и 16 к микроэлементам и тяжелым металлам, или, как их еще называют, к биогенным компонентам (I, Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Mo, As, B, Se, Cr, Fe, V, Si). В организме человека набор этих элементов

возрастает до 30, хотя формы их соединений, а главное —их физиологическая роль, еще мало изучены.

С экологических позиций некоторые разночтения в списочном составе макро- и микроэлементов у перечисленных авторов не имеют принципиального значения. Важно другое - развитие биологических форм жизни невозможно без потребления макро- и микроэлементов, резервуаром которых является, главным образом, литосфера.

Еще одним общим аспектом, связанным с пониманием жизнедеятельности биоты, являются биогеохимические циклы. По определению Г.А.Богдановского (1994), это в большей или меньшей степени замкнутые пути циркуляции химических элементов, входящих в состав клеточной протоплазмы, из внешней среды в организмы и опять во внешнюю среду. В таком круговороте вещества он различает два фонда — резервный и обменный. Первый, как правило, представлен небиологическим компонентом, в котором находится большая масса медленно движущихся веществ, второй - фонд быстрого обмена между организмами и их окружением. На этой основе им выделяются два типа биогеохимических циклов: круговорот газообразных веществ с резервным фондом в атмосфере и океане и осадочный цикл с резервным фондом в земной коре, который и является предметом изучения геологических наук. Он включает в себя такие элементы, как фосфор, железо, сера, натрий и др. Не трудно заметить, что эти вопросы тесно связаны и с геохимической функцией литосферы, но здесь рассматриваются с ресурсных позиций. Г.А.Богдановский подчеркивал, что из всех элементов фосфор - один из самых редких в смысле его обилия в доступных резервуарах литосферы и его можно рассматривать как один из лимитирующих факторов среды.

Минеральные биогенные комплексы-кудюриты

Их еще называют "нетрадиционными" источниками минерального сырья, являющимися стимуляторами роста растений и животных. Они - непременная составляющая питания литофагов.

Литофагия, или камнеедение ("литос" - камень, "фагос" - пожирание), известна давно. В животном мире это явление столь же обычное, как и традиционное питание, но не нашедшее пока соответствующей однозначной научной оценки. В.И.Бгатов показал, что кроме пищевых и лечебных солей в природе существует большая группа алюмосиликатных и силикатных минералов, которые едят птицы, звери и люди, однако знают о них лишь немногие путешественники, геологи и охотоведы. Об этом писал В.К.Арсеньев, путешествовавший по Дальнему Востоку, канадские исследователи М.Кадэн и В.Бирк о солонцах в Скалистых горах, Дж.Мак-Киннон о литофагии индийских слонов на о.Суматра и многие другие. На склонах холмов о.Суматра, сложенных цеолитизированными и монтмориллонитизированными туфами неоген-четвертичного возраста, Дж. Мак-Кинноном описаны пещеры размерами 3,5 x 7,5 м, которые "выскребли" слоны, добывая белую каменную пемзу (продукт выветривания туфов, обогащенный минералами

с высокими сорбционными и ионообменными свойствами). Этими слоновыми раскопками пользовались и другие животные - орангутанги, гиббоны, олени и даже белки.

В пределах России также известен целый ряд регионов со зверовыми "солонцами", причем весьма разнообразного минерального состава. В центральном Сихотэ-Алине — это туфы преимущественно гейландит-клиноптилолитового состава, опал, монтмориллонит и их смеси; на побережье Байкала - выветрелые сланцы, состоящие из тонкого кварца, гидрослюд, хлоритов, амфиболов, плагиоклазов, карбонатов кальция и магния; на Алтае - гидрослюды, монтмориллонит, хлориты, кварц, полевые шпаты; на Абаканском хребте - продукты выветривания серпентинизированных гипербазитов и т.д.

С экологических позиций, исходя из этих примеров, следует отметить два факта- использование животными как *однородного* по составу "минерального меню" разными группами животных (о.Суматра), так и *разнообразия* этого меню по территориальной принадлежности зверовых солонцов. Это очень интересные для экологической геологии выводы.

Природа литофагии пока не имеет однозначного и общепринятого ответа. Однако большинство исследователей склоняется к мнению, что она связана с положительным влиянием минеральных масс солонцовых пород на жизнедеятельность животных. Это естественная потребность диких животных в сбалансировании солевого состава организма, особенно в периоды сезонной смены пищи или перед гоним.

К такому же убеждению на основе анализа обломков каменного материала на "входе" и "выходе" пришел и В.И.Бгатов (1993). Он отмечал, что в основе литофагии лежит литотерапия, направленная на регуляцию солевого баланса организма. В качестве меню животные выбирают минеральные смеси, обладающие высокими ионообменными и сорбционными свойствами. Последние и получили на Алтае название *кудюриты* от слова "кудур" - солонцовый грунт, солончак, солонец, которым издревле пользуются исконные скотоводы - алтайцы, монголы, манджуры и др.

Высокая "экологическая" ценность кудюритов как минерального ресурса обеспечивает нормальную жизнедеятельность многих диких животных. Глубокое изучение этого природного феномена приводит к однозначному выводу: литофагия и энергетическое питание являются звеньями единого созидательного механизма - обмена веществ живой и неживой (костной) материи.

В последние годы кудюриты стали использоваться в качестве добавок в корм домашних животных, что существенно увеличило их прирост и улучшило физическое состояние. В районах отгонного животноводства природные солонцы охотно посещаются домашними животными (коровами, яками, лошадьми, козами и овцами), которые становятся активными конкурентами диких животных, нередко вытесняя последних с их традиционных солонцовых участков. С экологических позиций эта проблема требует внимания и регуляции. Изучается возможность использования кудюрита в качестве минеральной подкормки для птиц. В силу этого

сфера и объемы использования этого минерального сырья непрерывно возрастают, и проблема приобретает региональный характер.

Завершая рассмотрение кудюритов, а точнее литофагии, остановимся на их значении для человека как биологического вида. Миллионы людей и раньше, и ныне употребляют в пищу многие минеральные вещества. А.Е.Ферсман в "Занимательной минералогии" отмечал, что в экваториальной Америке живут целые народы геофагов (землеедов), не страдающих от нехватки пищевых продуктов. В Сенегале негры едят глину, в Италии готовят кушанье "алика" из смеси пшеницы и мергеля. Во многих районах Африки существуют целые производства по приготовлению минеральной пищи. Так, в поселении Анфозда (Гана) две тысячи рабочих добывают глину и изготавливают из нее лепешки для продажи, а жители деревни Узалла (Нигерия) съедают ежегодно 400-500 т "съедобной" глины (Бгатов, 1993). Перечень фактов геофагии можно было бы продолжить, но и из приведенных данных совершенно очевидно, что поднятая проблема подлежит всестороннему изучению как в рамках ресурсной, так и геохимической функций литосферы.

Следует сказать и несколько слов об оригинальной гипотезе, предложенной В.И.Бгатовым в качестве объяснения массового вымирания мамонтов на территории Сибири в позднем плейстоцене. Он связывает эту экологическую катастрофу не с похолоданием климата, а с переходом в мерзлое состояние кудюров и, как следствие, невозможность "поедания" их мамонтами. Это привело к нарушению солевого баланса этих травоядных животных и их гибели. Не останавливаясь на обосновании приводимых в пользу высказанной гипотезы аргументов, отметим, что такой взгляд на купюры - еще одна возможная грань в роли минерального вещества литосферы в жизни биоты.

Не меньшее значение минеральные вещества литосферы имеют и для растительного мира. Развивая свои представления о зоне минерального питания растений (зона аэрации), В.И.Бгатов (1996 г.) приводит ряд примеров, представляющих интерес с эколого-геологических позиций. Речь идет о роли подземного CO_2 в жизни растительных биоценозов. Так, в пределах активных тектонических разломов, на нефтегазоносных и угленосных площадях, где в процессе полевых работ были зафиксированы относительно интенсивные его истечения из недр, растительность существенно отличается от зональной. Она более "пышная" и более "южная". Это справедливо и для тундровой зоны с многолетнемерзлыми породами, где в местах активного истечения CO_2 развиты массивы таежной растительности. Отмечено, что на территории Западной Сибири наиболее мощные торфяные залежи тяготеют к углеводородным месторождениям и здесь же местами произрастают массивы кедровых лесов с высокой биомассой. Этот факт зафиксирован на Собинском, Юрубчанском, Ковыкинском и других месторождениях.

В.И.Бгатов считает, что для территории Сибири характерно формирование азональных (интерзональных) биоценозов, жизнь и развитие которых подчинены минеральному питанию, связанному с особенностями геологического строения этой территории и, прежде всего, с составом газовой атмосферы зоны аэрации. Он убежден, что только через изучение состава и закономерностей развития зоны

минерального питания растений и ее газового поля можно понять причины изменений и направленности развития растительного покрова. Из сказанного можно сделать вывод, что условия минерального питания растений, а, следовательно, и ресурсы биофильных элементов, лежащие в его основе, определяют эволюцию биоты.

В контексте рассматриваемой проблемы несомненный интерес представляют данные Д.Г.Звягинцева (1987) о роли природных минеральных сорбентов в жизни микроорганизмов (простейшие, грибы, дрожжи, бактерии, нитчатые бактерии, микроплазмы). Первая позиция постулирует непосредственное взаимодействие микроорганизмов (микробных клеток) с минеральной поверхностью почвенных частиц; при этом минеральный состав почв оказывает существенное влияние на их жизнедеятельность. Другая точка зрения сводится к тому, что поверхность минералов в почве экранирована органическими соединениями и может оказывать на микроорганизмы только косвенное воздействие. Не вдаваясь в детали проблемы, отметим главное: нет сомнений в экологической значимости минерального субстрата. Установлено, что аминокислоты (аргинин, лизин, гистадин) существенно влияют на активность бактерий, что проявлялось в интенсивности дыхания, приросте клеток и биомассы. А аминокислоты, в свою очередь, адсорбируются в больших количествах на глинистых минералах, приводя к сильной агрегации глинистых частиц. По способности адсорбировать аминокислоты глинистые образования располагаются в следующем порядке: гумбрин > бентонит > кил > нонтронит > монобермит > каолинит. Из этого следует вывод: глинистые минералы играют важную роль в жизни микроорганизмов, но в данном случае не как питательная среда, а как минеральный субстрат, необходимый для их существования.

Резюмируя приведенную информацию, сделаем вывод, что пока наши знания о кудюритах недостаточны. Не исключено, что цеолиты как один из их представителей в скором времени могут стать объектом интенсивного использования не только биотой, но и в разных отраслях народного хозяйства. Возможно —это минеральный ресурс завтрашнего дня. С этих позиций очевидно и надо подходить к оценке их ресурса. При этом совершенно очевидно, что изучение их как биофильных минералов – сфера деятельности не только геологов (за ними запасы), но и биологов, химиков и медиков. Соответственно и методы исследования цеолитов в этом отношении будут связаны именно с этими науками.

Поваренная соль

Она является типичным минеральным образованием, потребляемым биотой и, в первую очередь, человеком. По отношению к ней все люди – литофаги, так как, по оценкам С.П.Горшкова (1992), жители Земли употребляют ее в объеме 8-10 кг в год на человека. С ресурсных позиций это минеральное образование является исключением из общего правила, так как в определенном объеме относится к категории возобновляемого ресурса. Поваренную соль получают либо из рассолов в зоне соляных залежей, либо собирают в местах естественного выпаривания со-

ленной морской воды. Пока природные запасы поваренной соли в ресурсном отношении особой тревоги не вызывают.

Следует напомнить, что этот минеральный ресурс необходим человеку как биологическому виду. Поваренная соль активизирует некоторые ферменты, поддерживает кислотно-щелочное равновесие, она необходима для выработки желудочного сока. Отсутствие или недостаток соли в организме приводит к различным расстройствам: понижению артериального давления, мышечным судорогам, учащению сердцебиения и другим отрицательным последствиям.

Следует отметить, что, несмотря на практически неограниченные запасы поваренной соли, в конце 80-х годов потребность в ней населения Северной Евразии удовлетворялась только на 90%. Такое же положение сохранилось и до настоящего времени.

Подземные воды как ресурс литосферы, необходимый для жизни биоты

С этих позиций экологическая значимость пресных подземных вод особых пояснений не требует. Сошлемся только на В.И.Вернадского, который показал, что живое вещество в течение всего 7-10 млн лет пропускает через себя такое количество воды, которое равно по объему и количеству Мировому океану.

Подземные воды, пригодные для питьевого водоснабжения, составляют 14% от всех пресных вод планеты. Однако они значительно превосходят по качеству поверхностные воды и в отличие от них гораздо лучше защищены от загрязнения, содержат микро- и макроэлементы, необходимые для организма человека, не требуют дорогостоящей очистки. Именно этим определяется их значимость как важнейшего источника питьевого водоснабжения, т.е. обеспечения водой человека как биологического вида.

Сказанное хорошо согласуется с данными Европейского экономического сообщества, по оценкам которого на долю подземных вод приходится в среднем до 60% в водоснабжении населения европейских стран. Так, в Австрии, Бельгии, Венгрии, Германии, Дании, Румынии, Швейцарии и странах Балканского полуострова удельный вес подземных вод для водоснабжения населения составляет 70-100%, в Болгарии, Италии, Нидерландах, Португалии, Франции, Чехии и Словакии - 50-70%.

В ряде европейских стран (Италии, Швейцарии, Австрии, Люксембурге) существенную долю в питьевом водоснабжении составляет каптаж родниковых вод. Полностью или почти полностью подземными водами снабжаются Будапешт, Вена, Гамбург, Копенгаген, Мюнхен, Рим, а для Амстердама, Брюсселя, Лиссабона такие воды покрывают более половины общей потребности в пресной воде. В США подземными водами удовлетворяется потребность в хозяйственно-питьевой воде примерно 50% населения.

В России прослеживается та же тенденция. В настоящее время более 60% городов Российской Федерации имеют централизованные источники водоснабже-

ния. В ресурсном плане использование подземных вод значительно ниже потенциальных возможностей и составляет порядка 5% (для водоснабжения) от потенциальных ресурсов, оцениваемых в $230 \text{ км}^3/\text{год}$. Однако сделанные оценки справедливы только для России в целом и существенно меняются при переходе к отдельным регионам. Дефицит подземных вод ощущают следующие регионы: Северный Кавказ (юг и восток Ростовской области, Ставрополье, северная часть Дагестана), Среднее и Нижнее Поволжье (Калмыкия, Астраханская область, заволжские части Волгоградской, Саратовской и Самарской областей), Зауралье (Курганская, большая часть Челябинской и Омской областей), регионы Севера европейской части России (область Балтийского щита, районы Новгородской, Вологодской, Ярославской, Костромской и Пермской областей).

Дефицит в питьевой воде в принципе обусловлен тремя основными факторами: отсутствием достаточных ресурсов подземных вод в связи с природными причинами (зона многолетнемерзлых пород, широкое развитие относительно безводных толщ - Карелия, Мурманская, Кировская и Астраханская области); интенсивной эксплуатацией и сработкой основных водоносных горизонтов (Средний Урал, зоны крупных городских агломераций); техногенным загрязнением водоносных горизонтов, используемых для питьевого водоснабжения. Последний фактор связан с дефектами оценки экологических последствий при утверждении и реализации крупных проектов и, как следствие, нерациональным недропользованием.

Наиболее впечатляющим примером таких катастрофических техногенных воздействий является Равнинно-Крымский артезианский бассейн. Интенсивная эксплуатация подземных вод для орошения, а также строительство и ввод в действие Северо-Крымского канала привели, по оценке И.И.Крашина (1994), к засолению пресных подземных вод. За 30 лет эксплуатации водоносных горизонтов потеряны вековые запасы наиболее ценной питьевой воды с минерализацией $0,5 \text{ г/л}$ (более 20 км^3) и около 10 км^3 пресной воды стало солоноватой. При этом было получено всего около 5 км^3 подземных вод, большая часть которых была использована на орошение.

Невозможность использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения в результате загрязнения отмечается на участках складирования твердых бытовых отходов. Например, в районе полигона Щербинка Московской области загрязненные грунтовые воды с превышением ПДК по ряду компонентов в 100-130 раз проникли в подольско-мячковский водоносный горизонт каменно-угольных отложений. В результате этого в водах горизонта увеличилось содержание хлоридов в 3-7 раз, сульфатов более чем в два раза, отмечено присутствие хрома и кадмия.

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых приводит к истощению эксплуатационных запасов подземных вод, что связано не только с отбором откачиваемых вод на разрабатываемом месторождении, но и с выходом из строя действующих водозаборов подземных вод. Наиболее крупные воронки-депрессии формируются в тех случаях, когда в обводнении горных выработок участвуют водоносные горизонты, имеющие региональное распространение. Так, длительная

работа (начиная с 1956 г.) системы водопонижения вокруг месторождения КМА привела к смыканию депрессионных воронок вокруг Лебединского карьера и шахты им. Губкина. Уровни мелового водоносного горизонта были снижены на 20-25 м, из-за чего строительство следующего Стойленского карьера осуществлялось на первом этапе практически в обезвоженных породах. В настоящее время режим подземных вод района разработок нарушен по верхнемеловому горизонту в радиусе 40 км, а по докембрийскому - в радиусе 80 км, что делает экономически нецелесообразным использование подземных вод этого района для водоснабжения населения.

Существенные изменения в режиме и химическом составе подземных вод вызвало создание системы локального водопонижения на Коршуновском железорудном месторождении. Оно обусловило снижение напоров устькутского водоносного горизонта на 100-110 м и "подтягивание" к дренажной системе рассольных вод с минерализацией более 80 г/л, что исключает использование этих подземных вод для питьевого водоснабжения. Сильное влияние на гидрогеологические условия и ресурсы подземных вод оказывает разработка угольных месторождений в Кузнецком, Подмосковном, Кизеловском, Печорском бассейнах, месторождений Северо-Уральского бокситового района и др.

Влияние разработки нефтяных и газовых месторождений на ресурсы и качество подземных вод связано с нагнетанием воды в продуктивный пласт с целью поддержания пластового давления. Оно может привести к загрязнению пресных вод неглубоких горизонтов при фильтрации нефти и высокоминерализованных вод по зонам тектонической трещиноватости. Критическая ситуация сложилась с водоснабжением населения в ряде районов республики Татарстан. Засоленность водоносных горизонтов из-за интенсивной нефтедобычи на юго-востоке республики отмечается на значительных территориях. Для водоснабжения городов Альметьевск, Бугульма, Заинск, Анакаево питьевую воду приходится транспортировать на большие расстояния, что резко повышает ее себестоимость и отрицательно сказывается на ее качестве. Для решения проблемы обеспечения населения экологически чистой водой намечается строительство заводов по подготовке и разливу питьевой воды.

Приведенных примеров достаточно, чтобы сделать ряд выводов:

ресурсы подземных вод питьевого назначения - объект обязательной экологической оценки при планировании и проведении тех или иных мероприятий и проектных решений. Особо подчеркнем - необходимы качественные прогнозы изменения ресурса питьевых подземных вод при планировании всех видов хозяйственной деятельности. Вопросы подтопления территорий, вторичного засоления почв всегда присутствуют в оценках воздействия на природную среду, а вот воздействие, причем опосредованное, на ресурсы подземных вод нередко отсутствует, о чем говорит печальный опыт создания Северо-Крымского канала;

уровень детальности проработки рассматриваемой проблемы должен быть дифференцирован по отдельным территориям, исходя из "дефицитности" водного ресурса;

соответствующая информация должна отражаться на эколого-геологических картах;

сделанные оценки по ресурсам подземных вод подлежат периодическим уточнениям, учитывая их высокую динамичность, зависящую как от природных, так и техногенных факторов;

питьевая вода - наиценнейший ресурс, бездумное и бесконтрольное расходование (в том числе и загрязнение) которого может привести, а местами уже привело к тяжелым экологическим и социальным последствиям, вплоть до отселения жителей некоторых территорий.

5.3. Минеральные ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого общества*

Минеральные ресурсы, их структура и человеческое общество

Минеральные ресурсы представлены совокупностью выявленных в недрах скоплений (месторождений) различных полезных ископаемых, в которых химические элементы и образуемые ими минералы находятся в резко повышенной концентрации по сравнению с кларковыми содержаниями в земной коре, обеспечивающей возможность их промышленного использования. Они являются составной частью природных ресурсов, включающих также агроклиматические, водные, земельные и лесные ресурсы. Все они (природные ресурсы) представляют природные тела и вещества (или их совокупность), а также виды энергии, которые на конкретном этапе развития производительных сил используются или могут быть технически использованы для эффективного удовлетворения разнообразных потребностей человеческого общества.

Структура минеральных ресурсов определяется целевым назначением их использования. Существует пять основных категорий минеральных ресурсов: топливно-энергетические, черные и легирующие металлы, цветные металлы, неметаллические полезные ископаемые, подземные воды.

К топливно-энергетическим минеральным ресурсам относятся полезные ископаемые, используемые для производства энергии: нефть, конденсат, горючий газ, каменные и бурые угли, уран, битуминозные сланцы, торф и др. Мировая энергетика XX столетия характеризовалась быстрыми темпами потребления топлива. В пятидесятые годы основным видом потребляемого топлива являлось твердое: каменный и бурый уголь, торф и горючие сланцы, которые в общей структуре потребления составляли около 60%. В семидесятые годы произошли существенные изменения в структуре потребления топлива: приоритетное значение (45%) приоб-

* С использованием материалов М.А.Харькиной.

рело жидкое топливо (нефть и газовый конденсат), а удельный вес твердого топлива снизился до 30% и остается на этом уровне до настоящего времени.

Категорию черных и легирующих металлов составляют руды железа, марганца, хрома, титана, ванадия, вольфрама и молибдена. Это сырье необходимо для функционирования промышленности - производства стали и чугуна.

Категория цветных металлов представлена рудами меди, кобальта, свинца, цинка, олова, алюминия, сурьмы и ртути. Они используются как в гражданской, так и в оборонной и химической промышленности.

К категории неметаллических полезных ископаемых относятся различные виды минеральных солей, строительные и другие материалы (самородная сера, флюорит, каолин, барит, графит, асбест-хризотил, магнезит, огнеупорная глина). Минеральные соли (фосфатные, калийные) являются сырьем при производстве удобрений, обеспечивающих плодородие земель и высокие урожаи зерновых. Поваренная соль (галит) - сырье для пищевой промышленности; поскольку в человеческом организме нет ее запасов и она является важнейшим компонентом питания, ее приходится употреблять ежедневно. Щебень, гранит и песок используются в дорожном строительстве и как компоненты при производстве цемента. Самородная сера и флюорит используются в химической промышленности для производства серной и плавиковой кислот, ядохимикатов и эмалей. Каолин необходим в бумажном производстве, где используется 40-50% всей его добычи, он определяет качество бумаги. Барит является утяжелителем растворов при бурении на нефть и газ, а также инертным наполнителем в медицине при рентгеноскопии. Графит необходим в литейном деле, при производстве карандашей, типографских красок, а также в атомных реакторах. Асбест-хризотил применяется как огнеупорный материал, используется его стойкость к кислотам и щелочам.

Особую категорию минерально-сырьевых ресурсов составляют подземные воды, так как их запасы восполняются в течении человеческой жизни. По своему назначению они подразделяются на питьевые, технические, используемые для орошения земель, минеральные лечебные, геотермальные, используемые в бальнеологических целях и для теплоснабжения, а также промышленные, используемые для извлечения некоторых полезных компонентов (йод, бром, литий, и др.).

Такое положение минеральных ресурсов позволяет считать их важнейшим фактором развития человеческого общества, чем и определяется их экологическое значение. Проблема удовлетворения растущих потребностей мирового хозяйства в топливе и энергии, черных, цветных, редких и благородных металлах, алмазах, сырье для химической промышленности, сельского хозяйства, строительной индустрии и т.п. становится с каждым годом все более острой.

В настоящее время из недр извлекается около 200 видов полезных ископаемых, включающих все элементы таблицы Менделеева, а годовой объем добычи минерального сырья достигает 17-18 млрд т горной массы в год. Каждый человек потребляет в среднем известное количество минерального сырья. В 70-80-х годах, по данным Г.Люттинг, потребление сырья на одного гражданина ФРГ, подсчитанное для средней продолжительности жизни 70 лет, составило 1180 т, в том числе:

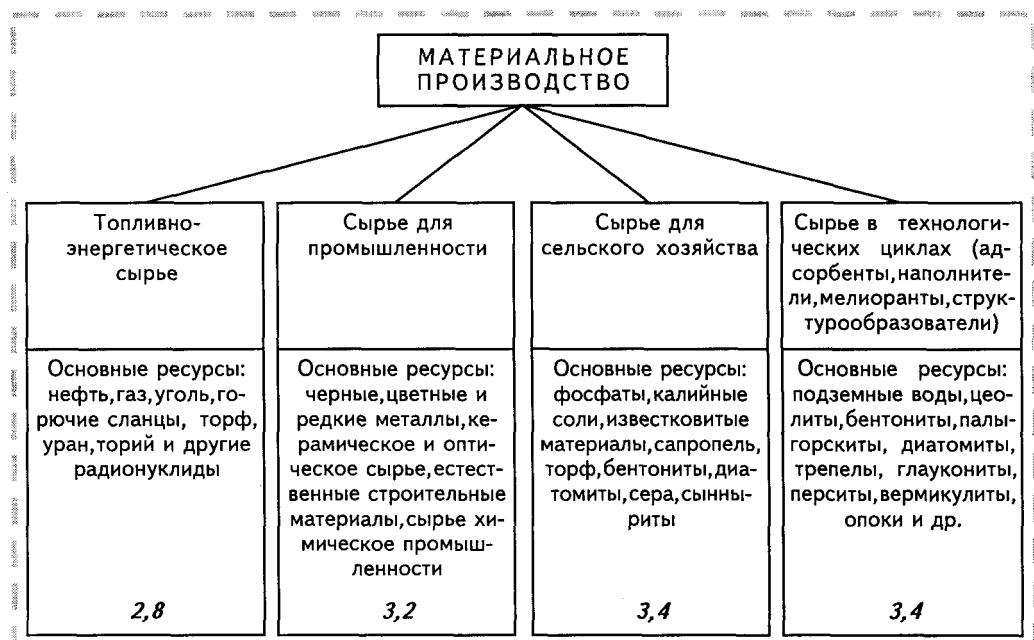


Рис. 10. Принципиальная схема использования природных ресурсов литосферы в сфере материального производства

песка и гравия - 460, нефти - 166, прочих пород - 146, угля - 145, известняка - 99, стали - 39, цемента - 36, глины - 29, промышленного песка - 23, каменной соли - 13, гипса - 6, доломита - 3,5, фосфатов - 3,4, серы - 1,8, торфа - 1,8, природного песчаника - 1,8, каменной соли - 1,6, алюминия - 1,4, каолина - 1,2, цветных и других металлов - 2.



Рис. 11. Роль и место минеральных ресурсов в социально-экономических и экологических вопросах развития материальной базы современного общества

Минеральное сырье является основой материального производства и используется во всех отраслях хозяйства: в топливно-энергетическом комплексе, промышленности и сельском хозяйстве, а также в технологических циклах (рис. 10). Минеральные ресурсы лежат в основании (являются базисом) пирамиды, отражающей социально-экономические и экологические проблемы развития материальной основы современного общества (рис. 11). Как видно, все

эти проблемы взаимосвязаны между собой и в сумме определяют роль ресурсной функции литосферы (состояние ее минерально-сырьевой базы) в развитии человеческой цивилизации.

Рассматривая эту проблему в историческом аспекте, следует выделить роль и значение современного этапа развития человеческого общества. Он может быть охарактеризован как переходный от индустриального к постиндустриальному. Характерными признаками постиндустриального общества является стабилизация численности населения ($AGR \rightarrow 0$) и удельного потребления энергии ($e/e^* \rightarrow 1$) вне зависимости от климата.

Россия, исходя из этих позиций, относится к группе переходных стран, в которой демографическая стабилизация практически достигнута, но насыщенность энергией еще не наступила. Это, в свою очередь, обуславливает непрекращающийся рост добычи топливно-энергетических ресурсов и в целом минерального сырья из земных недр. В этих условиях, несмотря на высокий уровень централизации управления развитием минерально-сырьевой базой, в нашей стране не была сформулирована стратегия ее использования, сбалансированная с потреблением, и национальная минерально-сырьевая программа. Россия до сих пор добывает минерального сырья больше всех отдельно взятых стран в мире. На долю нашей страны приходился наибольший удельный вес в мировой добыче нефти и газа, железных и марганцевых руд, никеля и кобальта, вольфрама и сурьмы, калийных солей и апатитов, хризотил-асбеста и барита. Господствующее положение по ценности занимают энергоносители (нефть и газ). Однако в подавляющем большинстве нефть и газ использовались в стране не как топливно-энергетический ресурс, а как средство валютных поступлений в казну государства.

Исходя из представлений о невозобновляемости минеральных ресурсов в масштабах физического времени или времени развития и существования человеческого общества и его будущей истории и ограниченности в пределах доступных глубин литосферы, проблема их рационального использования приобрела особую остроту во второй половине текущего столетия. Это проблема планетарного характера. Поэтому проблему состояния минеральных ресурсов с учетом их использования для будущего человеческого общества следует решать, в первую очередь, с экологических, а не только экономических позиций, как это сейчас обычно происходит.

Подчеркнем, что минеральные ресурсы исследуются и анализируются нами как ресурс литосферы, лимитирующий социально-экономическое развитие человеческого общества. Оценка воздействия на экосистему разработки месторождений полезных ископаемых здесь совершенно не рассматривается - это другая задача.

В заключение рассмотрим вопрос оценки для человеческого сообщества минеральных ресурсов отдельных территорий на уровне областей, районов, зон пла-

* AGR - интегральный демографический показатель, определяемый как разность между рождаемостью и смертностью (без учета миграции).

** e/e^* - соотношение реального и оптимального значений потребления энергии.

нируемого освоения. Он требует серьезной теоретической подготовки и экологически ориентированного подхода, обеспечивающего рациональное природопользование. Анализ опубликованных материалов, позволяет высказать следующие взгляды о путях его решения.

Очевидно, что определение количества минеральных ресурсов, необходимых для нормального существования и развития населения конкретной локальной территории, требует индивидуальной оценки их с учетом территориальной геологической и социальной специфики: для одной территории наиболее значимым будет ресурс подземных вод питьевого назначения, а для другой - цемент, песчано-гравийные смеси или минеральные соли. Так, отсутствие на юге и востоке России крупных эксплуатируемых месторождений фосфатов вынуждает осуществлять их дорогостоящие многокилометровые перевозки. Крупнотоннажные перевозки характерны для цементного сырья, не относящегося к продукции легко переносимой транспортировке, особенно на дальние расстояния.

Не вдаваясь в детали минеральных ресурсов конкретной территории, подчеркнем, что комплексная оценка недропользования должна учитывать их социально-экономическую и экологическую значимость для данного региона и возможность завоза со смежных территорий с учетом экологически неприятных последствий во время транспортировки. Нам представляется, что основной задачей специалиста в области экологической геологии является выявление для каждой конкретной территории тех минеральных ресурсов литосферы, без которых невозможно или затруднительно нормальное социально-экономическое развитие этого региона, а завоз их из соседних мест является нерентабельным. Этим и будет определяться ценность таких ресурсов и необходимость их рационального использования. Понятно, что при таком подходе приоритетное значение будет отводиться минеральному сырью, завоз которого со смежных территорий требует больших материальных затрат и многотоннажных перевозок.

Еще одним важным положением при оценке минеральных ресурсов той или иной территории является опережающее выявление ценного для нее месторождения полезного ископаемого, попадающего в зону планируемого хозяйственного освоения. Надо сказать, что это положение уже регламентировано инструктивно-методическими рекомендациями по проведению "оценки воздействий на окружающую среду" - ОВОС. Оно требует анализа наличия или отсутствия месторождений того или иного полезного ископаемого на территории проектируемого объекта, строительство и функционирование которого усложнит или сделает невозможным его извлечение. Одним из условий проведения ОВОС является определение допустимых масштабов вовлечения в переработку природных ресурсов (в том числе минеральных) и энергии на данной территории. В концепции ОВОС оцениваются альтернативные источники сырья и энергии, вторичные сырьевые и энергетические ресурсы и отходы производства.

Даже столь краткий перечень основных положений ОВОС позволяет говорить, что на уровне разработки конкретных проектов изучение ресурсных свойств окружающей среды, в том числе и литосферы, уже нашло свое конкретное отраже-

ние. И самое основное - приоритет в оценке принятия или отклонения того или иного проекта отдается не экономическим (хотя их важность не вызывает сомнений), а экологическим факторам, оценке экологических последствий реализации проекта. Нам представляется, что рассмотрение экологических свойств литосферы в свете изложенного закладывает научные и методические основы таких исследований и полностью отвечает запросам практики.

В случаях, когда речь идет о месторождениях ценного полезного ископаемого с большими запасами, требования ОВОС реализуются и учитываются. Примером такого подхода к рациональному недропользованию является Горьевское свинцово-цинковое месторождение на р.Ангара, попадающее в зону подтопления проектируемого водохранилища Средне-Енисейской ГЭС. Для защиты этого месторождения предусматривалось возведение высокой земляной дамбы. Когда же ситуация с оценкой ресурса менее четкая, реализация требований ОВОС не имеет столь радикального решения. Так, в зону затопления каскада Нарынских ГЭС в Киргизии попали нерентабельные на настоящий момент россыпи золота в аллювиальных отложениях этой реки. Аналогичная ситуация сложилась с угольными месторождениями в ложе проектируемого Крапивинского гидроузла на р. Томь в Кузбассе. Рентабельность разработки этих месторождений определялась только по экономическим показателям и уровню применяемых технологий. А эти показатели - временные и весьма динамичные. При использовании более совершенных технологий оценка рентабельности разработки этих месторождений может измениться. Методики проведения ОВОС в таких случаях пока не существует.

Однако наибольшие трудности с оценкой минеральных ресурсов и оценкой их значимости возникают в случае, когда контуры месторождений нескольких видов полезных ископаемых совпадают, и разработка одного из них ведет к безвозвратной потере минеральных ресурсов другого, причем экологически крайне важного. Наглядный пример - юго-восточная часть Татарстана, где разработка нефтегазовых месторождений привела к потере природного ресурса подземных вод питьевого назначения, что обусловило необходимость их "завоза" со смежных территорий. На этом горьком опыте привлечем внимание к необходимости комплексной оценки последствий реализации крупных проектов с многолетним прогнозом экологических последствий с учетом всего комплекса минеральных ресурсов данного региона.

О запасах минеральных ресурсов верхних горизонтов литосферы

Анализ оценки обеспеченности **топливно-энергетическими ресурсами** показывает, что наиболее дефицитным видом топлива является *нефть*, ее разведанных запасов хватит, по разным источникам, на 25-48 лет (табл. 28). Затем через 35-64 года истощатся запасы *горючего газа и урана*. Лучше всего обстоит дело с *углем*, его запасы в мире велики, и обеспеченность составляет 218-330 лет. При этом следует учитывать, что в мировой обеспеченности жидкими энергоносителями есть существенные резервы, связанные с продуктивными залежами нефти и газа

Мировая обеспеченность человеческого общества минеральными ресурсами

Минеральные ресурсы	Обеспеченность минеральными ресурсами (в годах) по литературным источникам				
	Мирлин Г.А., 1983	Земля и человечество, 1985	Горшков С.П., 1992	Геологическая служба., 1993	Другие источники
Топливо-энергетические:					
нефть	19/2012	35/2020	25/2015	45,7/2036	41 ¹ /2028
газ	39/2022	45/2030	35/2025	64/2054	59 ¹ /2046
уголь	172/2155	125/2110		330/2320	218 ¹ /2205
уран				30-40/2020-2030	
Черные и легирующие металлы:					
железо	75/2058	70/2055		172/2162	224 ¹ /2211
марганец	112/2095	105/2090		120/2110	
хром				270/2260	
титан				65/2055	
ванадий				100/2090	
вольфрам	17/2000	20/2005	10/2000	84/2074	
молибден	57/2030	45/2030		50/2040	
Цветные металлы:					
медь	49/2032	50/2035		54/2044	
кобальт	33/2016	35/2020	25/2015		
свинец	27/2010	30/2015	20/2010	25/2015	20-50 ² /2010-2040
цинк	24/2007	30/2015	15/2005	25/2015	20-50 ² /2010-2040
олово	15/1998	20/2005	10/2000	26/2016	
алюминий	62/2045	70/2055		350/2340	
сурьма		25/2010	15/2005		38 ³ /2036
ртуть	19/2002	23/2008	10/2000		
Золото				21/2011	
Алмазы			10/2000	26,5/2017	26-28 ⁴ /2016-2018

Примечания:

¹По данным Е.П.Романовой и др., 1993.²По данным Г.В.Ручкина и др., 1995.³По данным Т.Ю.Усовой и др., 1998.⁴По данным В.И.Ваганова и др., 1997.

В числителе - обеспеченность в годах, в знаменателе - до какого года обеспеченность.

на шельфе Мирового океана. Перспективы России связаны с освоением шельфа арктических морей, где по оценкам специалистов содержится свыше 100 млрд т углеводородов в нефтяном эквиваленте.

Особое место с экологических позиций среди топливно-энергетических ресурсов занимает *торф*. Наибольшее число торфяных месторождений на земном шаре находится в северном полушарии в зоне умеренного климата и во влажных тропиках. Торф - это не только топливо и энергетический ресурс, но и агрохимический ресурс, влияющий на продуктивность сельского хозяйства, и среда обитания редких и исчезающих растений и животных. Разработка месторождений торфа технологически связана с осушением территории, что приводит к экологическим изменениям и необратимым нарушениям. В результате осушения теряются богатые природные ресурсы торфяников, в частности ягодники (клюквы, черники и др.), происходит обеднение экологических систем путем сокращения численности или уменьшения числа видов биоты, и изменяется водный баланс местности. Наибольшие изменения водного режима грунтовых вод, связанные с осушением болотных массивов, наблюдаются в районах, где подстилающие грунты торфяной залежи и прилегающие площади сложены водонепроницаемыми породами. В условиях плоских заболоченных равнин снижение уровня грунтовых вод на 20-50 см ведет к нарушению водного питания рек и озер, резкому уменьшению экологического объема местообитания болотной фауны и флоры. Учитывая эти неоспоримые положения, на "Карте торфяных месторождений Нечерноземной зоны РСФСР" (1980) были отдельно выделены месторождения, рекомендуемые к сохранению в естественном состоянии. Они располагаются, как правило, в верховьях малых рек или питают небольшие озера.

В 1966 г. был принят Международный проект "Телмы", в котором торфяные месторождения рассматривались как фактор сохранения флоры, фауны и гидрологической стабильности. Составлены международные списки охраняемых торфяных месторождений, куда на территории бывшего СССР попали 834 месторождения с запасами торфа 5,9 млрд т. В особой защите нуждаются еще нетронутые торфяники, расположенные на Русской плите в районе интенсивного промышленного освоения, где экологическое равновесие уже существенно нарушено.

Среди **черных и легирующих металлов** самую низкую обеспеченность имеют руды *титана* (65 лет) и *вольфрама* (от 10 до 84 лет по разным источникам).

Мировая обеспеченность **цветными металлами** в целом значительно ниже, чем черными и легирующими. Запасов *кобальта*, *свинца*, *цинка*, *олова*, *сурьмы* и *ртути* хватит на 10-35 лет. Обеспеченность России запасами меди, никеля, свинца составляет 58-89%, а сурьмы - всего 17-18% от среднемировой. На этом фоне исключение составляют запасы алюминия: при современном уровне потребления и добычи его запасов хватит еще на 350 лет.

Мировая обеспеченность ресурсами **неметаллических полезных ископаемых** в среднем составляет 50-100 лет и выше (табл. 29). Самыми дефицитными являются *хризотил-асбест* (мировая обеспеченность 54 года) и *флюорит* (мировая обеспеченность 42 года). Низка обеспеченность России запасами барита,

Таблица 29

Мировая обеспеченность человеческого общества минеральными ресурсами неметаллических полезных ископаемых

Литературный источник, год	Обеспеченность, лет										
	Фосфаты	Калийные соли	Самородная сера	Асбест-хризотил (волокно)	Магнезит	Барит	Графит	Флюорит	Каолин	Огнеупорная глина	Бентонит
Мирлин Г.А. ¹ , 1983	$\frac{137}{2120}$	$\frac{177}{2160}$		$\frac{22}{2005}$							
Земля и человечество, 1985	$\frac{115}{2100}$	$\frac{215}{2200}$		$\frac{15}{2010}$					†		
Геологическая служба..., 1993	$\frac{200}{2190}$	$\frac{100}{2090}$	$\frac{85}{2075}$	$\frac{54}{2044}$	$\frac{638}{2628}$	$\frac{102}{2092}$	$\frac{322}{2312}$	$\frac{42}{2032}$	$\frac{>100}{>2090}$	$\frac{100}{2090}$	
Ахманов Г.Г. и др. ² , 1995						$\frac{8-9}{1998-1999}$					
Аксенов Е.М. и др. ³ , 1995						$\frac{7-15}{2002-2010}$			$\frac{7-15}{2002-2010}$		$\frac{7-15}{2002-2010}$
Сабитов А.А. ² , 1995						$\frac{20}{2015}$					

Примечания:

¹По данным Мирлина Г.А., приводится обеспеченность минеральными ресурсами без стран бывшего социалистического лагеря.

²Обеспеченность минеральными ресурсами для эксплуатируемых месторождений бывш.СССР.

³Обеспеченность минеральными ресурсами для бывш.СССР.

В числителе – обеспеченность в годах, в знаменателе – до какого года обеспеченность.

каолина и бентонита: она ниже мировой и составляет 7-15 лет. Геологические запасы галита (поваренной соли) в России практически неисчерпаемые.

Следует обратить особое внимание на природное минеральное сырье, используемое при решении задач охраны окружающей среды. Это минералы группы цеолитов, одна из разновидностей которых — клиноптилолит известен как прекрасный ионообменник и адсорбент. Его применение в ряде промышленных отраслей и сельском хозяйстве возможно для оздоровления окружающей среды. Клинноптилолит успешно применяется не только для очистки промышленных стоков и ядовитых газов, но и для очистки загрязненных водоемов, мест нерестилищ рыб, сорбции тяжелых металлов из выхлопных газов автомобилей. В России крупнейшие месторождения цеолитов известны на Дальнем Востоке и в Восточной Сибири.

Среди неметаллических полезных ископаемых в отдельную группу можно выделить *минеральное строительное сырье*, включающее щебень, гравий, песок и др. Литературных данных о мировой обеспеченности минеральным строительным сырьем пока не обнаружено. В России потребность в нерудном строительном сырье во многих регионах удовлетворяется не полностью. Плохо обеспечены щебнем Центральный, Центральнo-Черноземный, Волго-Вятский, Западно-Сибирский регионы и другие. В целом потребность страны в цементе удовлетворена; однако его не хватает потребителям в Центральном и Западно-Сибирском экономических районах.

Подземные воды как ресурс литосферы, необходимый для функционирования и развития человеческого общества, переоценить трудно. Это и водоемкие технологии, и источники энергии, и орошаемое земледелие, и оазисы как центры древних цивилизаций в аридных зонах планеты. Их преимуществом как ресурса по сравнению с поверхностными водами является то, что при наличии регулирующей емкости они не испытывают существенных сезонных и многолетних колебаний (в природных условиях).

Обеспеченность ресурсами подземных вод в целом по России достаточно высокая. В связи с особой важностью рассмотрим несколько подробнее обеспеченность пресными, минеральными, термальными и промышленными водами.

Пресные подземные воды. В соответствии с ГОСТом 2874-82 к ним относятся подземные воды с сухим остатком до 1 г/дм^3 (в некоторых случаях - до $1,5 \text{ г/дм}^3$). При расчетах обеспеченности ресурсами подземных вод учитываются невосребованные запасы подземных вод, срабатываемые в течение 50 лет. Таким образом, если допустить, что в течение последующих 50 лет общий отбор подземных вод увеличится в два раза и составит примерно $35\text{--}40 \text{ км}^3/\text{год}$, то можно предположить, что общие эксплуатационные ресурсы подземных вод России, составляющие около $230 \text{ км}^3/\text{год}$, в результате отбора невосполняемых запасов уменьшатся, по Л.С.Язвину (1996), примерно на $15\text{--}20 \text{ км}^3/\text{год}$.

Несомненно, что основной объем пресных подземных вод расходуется на питьевое водоснабжение. Однако определенная доля пресных подземных вод тратится на технические нужды, орошение пахотных земель и поливы пастбищ. Представление об объемах пресных подземных вод, расходуемых на эти нужды, дает

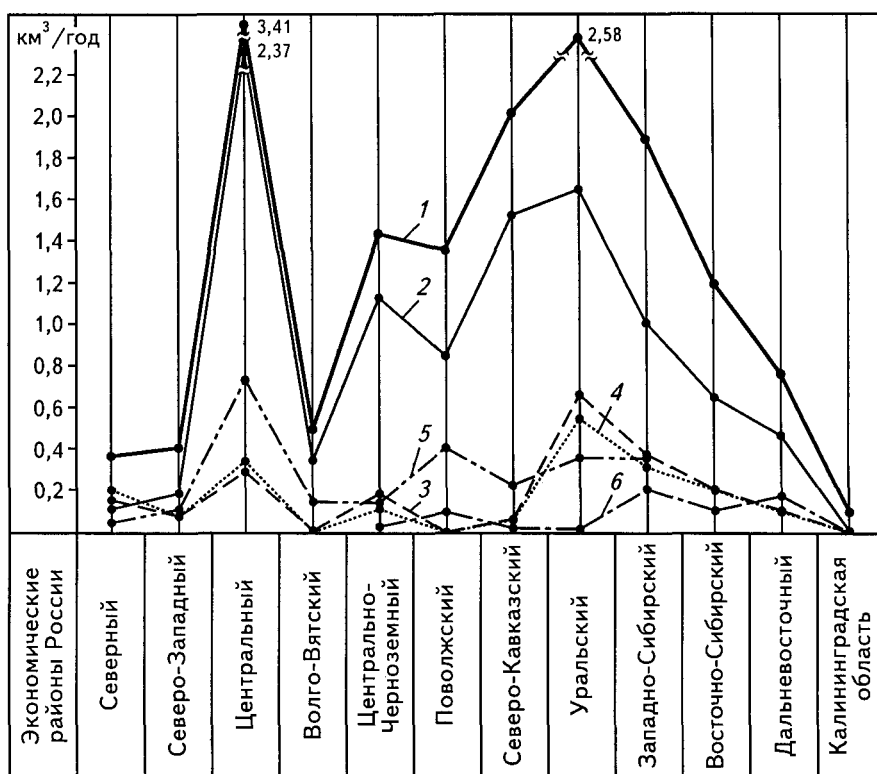


Рис. 12. Отбор пресных подземных вод по основным экономическим районам России в км³/год на 01.01.1992 г.:

1 – общее количество; 2 – хозяйственно-питьевое водоснабжение; 3 – шахтный и карьерный водоотлив; 4 – сброс воды без использования (потери воды при транспортировке, сброс воды из скважин, самоизлив из скважин, водослив дренажных вод); 5 – техническое водоснабжение; 6 – орошение земель и обводнение пастбищ

график (рис. 12), построенный по данным Л.С.Язвина и И.С.Зекцера для основных экономических районов России по состоянию на 1 января 1992 г. Кроме того, этот рисунок дает представление о неоправданных потерях этого ценного ресурса. Особенно выделяется по этому показателю Уральский район.

К минеральным лечебным подземным водам относятся подземные воды с высокой минерализацией, оказывающие на организм человека лечебное воздействие. Их распространение показано на рис. 13.

Прогнозные и эксплуатационные ресурсы подземных минеральных вод характеризуют общую обеспеченность территории бывшего СССР. После распада СССР наибольшей обеспеченностью минеральными водами, готовыми к промышленному освоению, характеризуются Северо-Кавказский район России, Грузия и Украина.

К термальным водам относятся подземные воды, приуроченные к естественным коллекторам геотермальной энергии и представленные природными тепло-

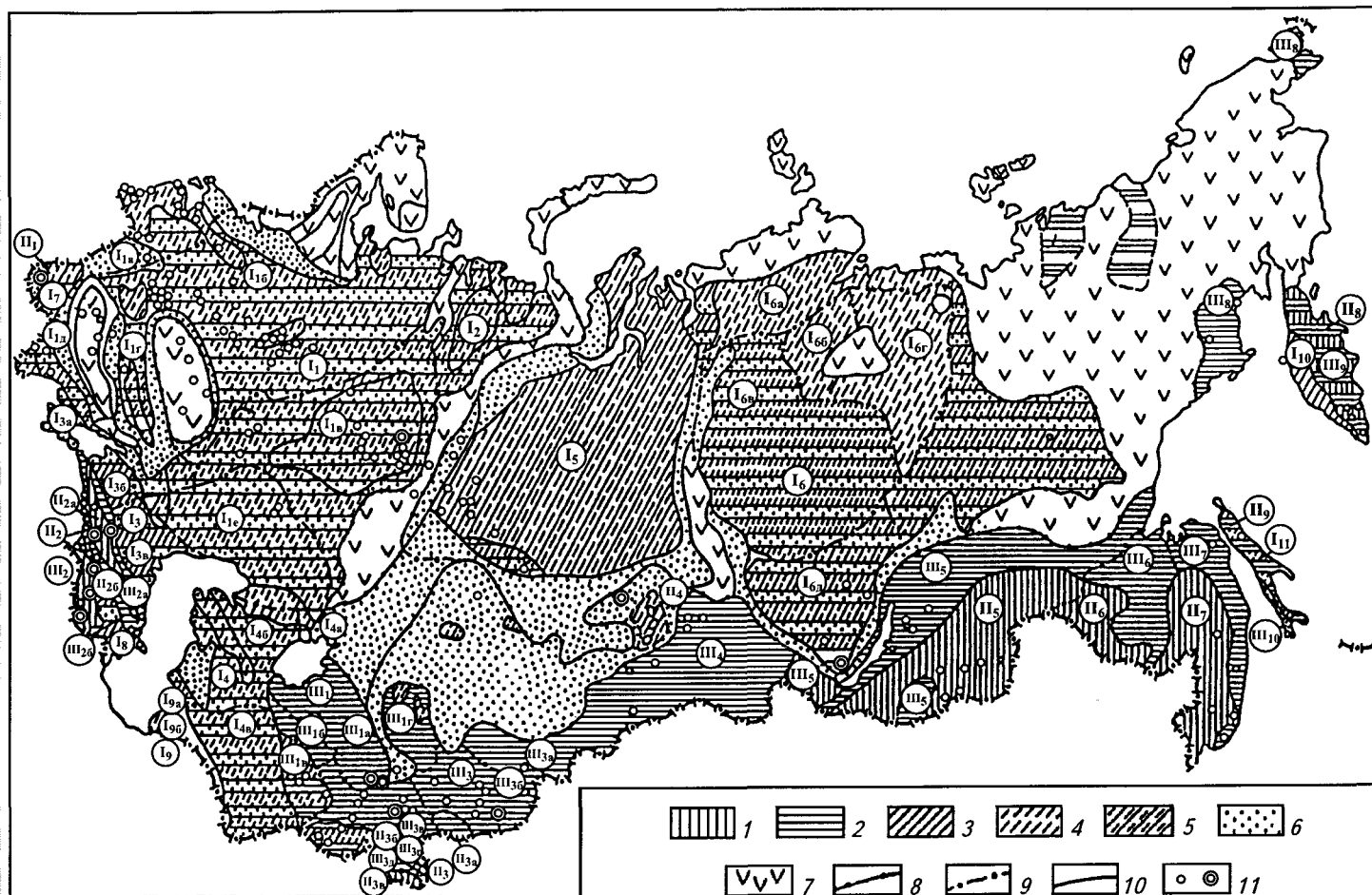


Рис. 13. Распространенность минеральных вод на территории бывшего СССР (по Г.С.Вартавяну, С.С.Бондаренко и др., 1984)

Типы минеральных вод: 1 – углекислые; 2 – азотные термальные, азотно-метановые и метановые; 3 – бромные; 4 – йодные; 5 – йодобромные; 6 – минеральные воды без “специфических” компонентов и свойств с минерализацией до 10-15 г/л; 7 – минеральные воды отсутствуют или распространены спорадически; границы: 8 – провинций; 9 – районов; 10 – типов вод; 11 – эксплуатируемые или разведанные месторождения. Гидрогеологические области (в скобках – районы) или районы (цифры в кружках). Провинция азотных, азотно-метановых и метановых вод: I₁ – Восточно-Европейская (I_{1a} – Прибалтийский, I_{1б} – Среднерусский, I_{1в} – Восточно-Донецкий, I_{1г} – Днепров-Донецкий, I_{1д} – Причерноморский, I_{1е} – Прикаспийский); I₂ – Печорская; I₃ – Скифская (I_{3a} – Крымский, I_{3б} – Азово-Кубанский, I_{3в} – Восточно-Предкавказский); I₄ – Туранская (I_{4a} – Арал-Тургайский, I_{4б} – Мангышлак-Устюртский, I_{4в} – Амударьинский); I₅ – Западно-Сибирская; I₆ – Восточно-Сибирская (I_{6a} – Хатангский, I_{6б} – Котуйский, I_{6в} – Тунгусский, I_{6г} – Якутский, I_{6д} – Ангара-Ленский); I₇ – Карпатская; I₈ – Кавказская; I₉ – Копетдаг-Большебалханская (I_{9a} – Большебалханский, I_{9б} – Копетдагский); I₁₀ – Камчатская; I₁₁ – Сахалинская. Провинция углекислых вод: II₁ – Карпатская; II₂ – Кавказская (II_{2a} – Предкавказье, II_{2б} – Большой и Малый Кавказ); II₃ – Тянь-Шаньско-Памирская (II_{3a} – Тянь-Шань, II_{3б} – Северный Памир, II_{3в} – Южный Памир); II₄ – Саяно-Алтайская; II₅ – Восточно-Сибирская; II₆ – Амуро-Охотская; II₇ – Сихотэ-Алиньская; II₈ – Камчатско-Курильская; II₉ – Сахалинская. Провинция азотных термальных вод: III₁ – Туранская (III_{1a} – Сырдарьинский, III_{1б} – Центрально-Кызылкумский, III_{1в} – Бухаро-Каршинский, III_{1г} – Чу-Сарысузский); III₂ – Кавказская (III_{2a} – Большой Кавказ, III_{2б} – Закавказье); III₃ – Джунгаро-Тянь-Шаньско-Памирская (III_{3a} – Джунгарский, III_{3б} – Восточный Тянь-Шань, III_{3в} – Западный Тянь-Шань, III_{3г} – Северный Памир, III_{3д} – Центральный Памир); III₄ – Саяно-Алтайская; III₅ – Восточно-Сибирская; III₆ – Амуро-Охотская; III₇ – Сихотэ-Алиньская; III₈ – Верхояно-Чукотская; III₉ – Камчатско-Курильская; III₁₀ – Сахалинская

носителями (водой, паром и пароводяными смесями). Принимая во внимание истощаемость традиционных видов энергоресурсов (нефть и газ), ряд зарубежных экспертов предсказывает до конца текущего столетия возрастание почти в два раза масштабов использования геотермальной энергии. Для практического использования термальные воды подразделяются на несколько классов: низкопотенциальные (с температурой нагрева 20-100°C) используются для теплотехнических нужд, среднепотенциальные (100-150°C) – для теплоснабжения, высокопотенциальные (более 150°C) – для выработки электроэнергии. Термальные воды с более высокой температурой (150-350°C) из-за технических трудностей обращения с ними пока не нашли своего применения.

Обеспеченность России запасами термальных вод очень высокая. Из общего количества глубинного тепла, выделяемого термальными источниками в атмосферу, 86% приходится на Курило-Камчатскую область, около 7% – на область Байкальского рифта и лишь 8% – на все остальные мобильные области континентальной коры.

Экологические аспекты освоения геотермальных ресурсов связаны с вероятностью теплового и химического загрязнения поверхностных слоев литосферы, так как термальные воды, помимо высокой температуры, характеризуются также повышенной минерализацией. Во избежание этого загрязнения разработана технология эксплуатации водоносных горизонтов с обратной закачкой в них использованных термальных вод.

К промышленным водам относятся высокоминерализованные подземные воды глубоких (1500-3000 м) водоносных горизонтов. Из них в промышленных масштабах получают такие элементы, как натрий, хлор, бор, йод, бром, литий или их соединения (например, поваренную соль). Интерес к промышленному использованию вод глубоких водоносных горизонтов в качестве минерального сырья определяется расширением потребности в редких элементах в различных отраслях хозяйственной деятельности и истощением традиционного рудного сырья. В мире добывается из промышленных вод 90% от общей добычи брома, 85% - йода, 30% - поваренной соли, сульфида натрия, лития, 25% - магнезия, брома и т.д.

Обеспеченность России подземными промышленными водами достаточно высокая. Они, как правило, приурочены к глубоким частям крупных артезианских бассейнов. С.С.Бондаренко и др. (1988) выделены весьма перспективные на йод и бром районы в пределах Восточно-Европейской, Западно-Сибирской и Сибирской платформенных областей.

Экологические аспекты разработки промышленных вод связаны с проблемой утилизации отработанных вод и вероятностью загрязнения вмещающих пород и дневной поверхности в процессе их добычи и переработки.

Анализ мировой обеспеченности человеческого общества невозобновляемыми минеральными ресурсами позволяет сделать ряд выводов с эколого-геологических позиций:

1. Разведанные минеральные ресурсы на Земле ограничены, особенно в верхних наиболее удобных для промышленной добычи слоях литосферы, и требуют постоянного контроля за их использованием с акцентом на *лимитированный уровень потребления*.

2. *Степень обеспеченности отдельными видами минеральных ресурсов неодинаковая*, что может иметь глубокие экологические последствия. По степени обеспеченности невозобновляемые минеральные ресурсы можно подразделить на три категории (рис. 14). К категории остро дефицитных относятся минеральные ресурсы, период обеспеченности которых рассчитан на ближайшие 10-20 лет и запасы которых могут быть исчерпаны при жизни настоящего и следующего человеческих поколений. К ним относятся золото, свинец, кобальт, цинк, олово и алмазы. Следующая категория охватывает минеральные ресурсы, обеспеченность которыми рассчитана на наступившее столетие. Это нефть, молибден, асбест, медь, газ, титан, вольфрам и ванадий. Третью категорию составляют минеральные ресурсы условно ограниченные - их запасы условно можно считать пока "практически неограниченными", поскольку при современном уровне потребления их хватит еще не на одно человеческое поколение, а во времени на несколько сотен лет. Эта категория включает каменную и калийную соли, марганец, железо, фосфаты, хром, уран, уголь, алюминий и другие полезные ископаемые.

3. *Обеспеченность минеральными ресурсами — динамичный показатель*, меняющийся во времени. Чем дефицитнее становится минеральное сырье, тем больше внимания уделяется его поискам и разведке. В сферу геологических изысканий вовлекаются все более глубокие слои литосферы и площади шельфа Мирового

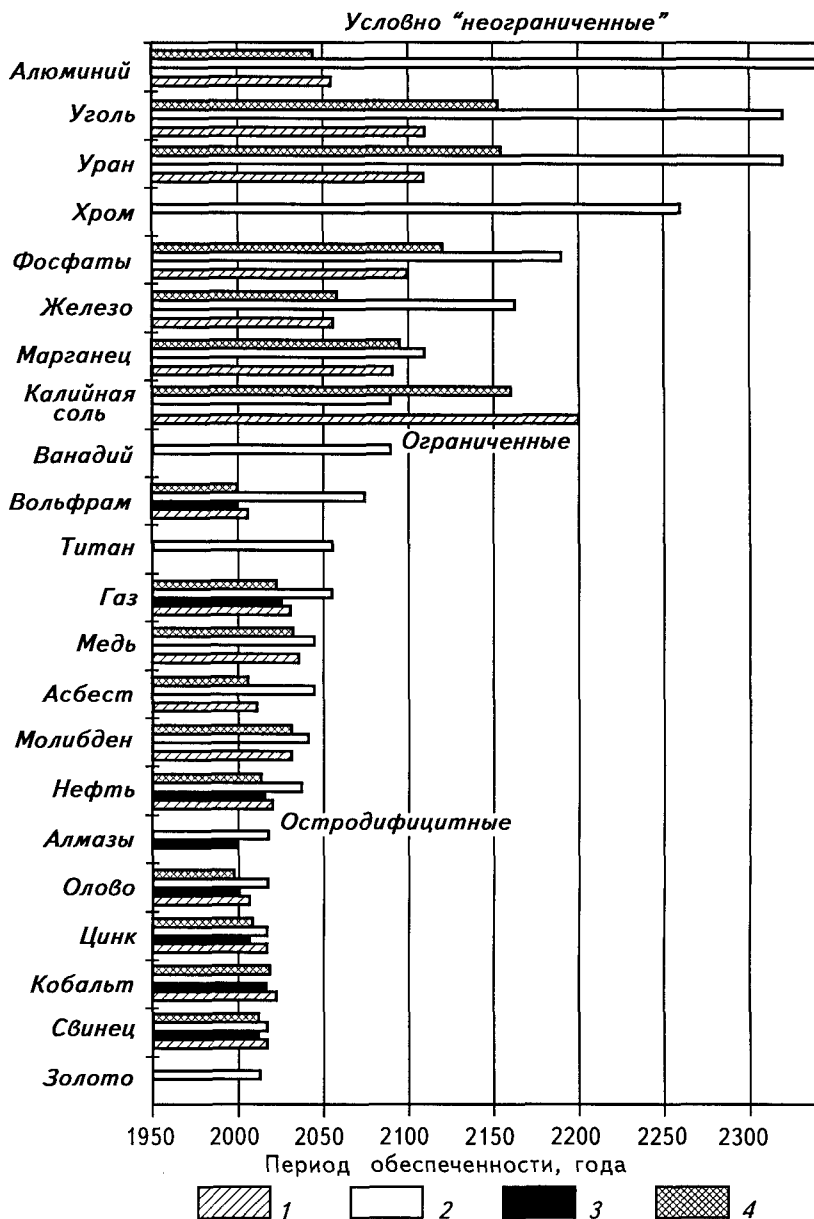


Рис. 14. Категории обеспеченности минеральными ресурсами

Источники: 1 – Земля и человечество, 1985; 2 – Геологическая служба..., 1993; 3 – Горшков С.П., 1992; 4 – Мирлин Г.А., 1983

океана, где открываются новые месторождения дефицитного сырья. Поэтому для знания современной ситуации и принятия управляющих решений необходим национальный комплексный эколого-геологический мониторинг минеральных ресурсов верхних слоев литосферы.

4. Степень обеспеченности минеральными ресурсами должна осуществляться с учетом созданных так называемых техногенных месторождений полезных ископаемых и возможностями применения более совершенных технологий по их извлечению из породных отвалов, шламохранилищ и отстойников.

5. В целом систему и механизм оценки остаточных запасов минеральных ресурсов можно считать разработанными как в теоретическом, так и практическом отношении. Вся проблема - в необходимости приоритета их экологической оценки, а потом уже экономической. А самое главное - необходимость обязательного использования эколого-геологических оценок при принятии управляющих решений на уровне государственных, законодательных и исполнительных органов. Требуется хорошо продуманная стратегия (программа) использования минеральных ресурсов на государственном уровне, учитывающая не только конъюнктуру сегодняшнего дня, но и возможность социального развития последующих поколений. Эта задача не геологическая, и мы ее только обозначили. Эколого-геологическое обоснование для ее решения может быть обеспечено на основе уже выполненных геологических исследований.

О минеральных ресурсах техногенных месторождений

Неоспоримость положения о скором исчерпании отдельных видов природных минеральных ресурсов и необходимость новых крупных капиталовложений в освоение новых месторождений ставят вопрос о целесообразности использования сырья техногенных месторождений. Обычно под техногенным минеральным сырьем понимаются отвалы вскрышных и вмещающих пород отработанных месторождений, а также хвостохранилища горно-обогатительных фабрик, где концентрация компонентов основной добычи, а также попутных полезных соединений меньше, чем в разрабатываемых промышленных пластах. Тем не менее, эти компоненты могут быть извлечены с применением новейших технологий. Ежегодно, по Е.С.Туманову и др. (1991), на земной поверхности накапливается техногенная масса, содержащая железа 350 млн т, фосфора - 7,4, меди - 5,7, свинца - 2,8, бария - 2,5 млн т, урана - 230 тыс. т, мышьяка - 190, ртути - 7,9 тыс. т.

Обоснование необходимости использования сырья техногенных месторождений - это еще один аспект экологической геологии. Утилизация отвалов вскрышных пород позволяет сокращать их площади и тем самым экономить ресурс геологического пространства, а извлечение полезных компонентов из хвостохранилищ, кроме экономической выгоды, способствует очищению поверхностной части литосферы от вредных для здоровья биоты примесей; особенно это касается тяжелых металлов и радиоактивных элементов.

Остро стоит проблема вторичной переработки техногенных масс на крупнейших месторождениях ныне дефицитных руд, например, медно-молибденовых.

Это обусловлено не только дефицитом меди и молибдена в мире, но также ухудшением качества сырья, вовлекаемого в переработку. С середины шестидесятых годов содержание меди и молибдена в пластах, считающихся промышленными, снизилось вдвое. По прогнозным оценкам, разработка техногенных месторождений позволила бы на 15-20% расширить сырьевую базу горно-металлургической, угольной и горно-химической отраслей промышленности. Для производства различных строительных материалов возможна утилизация до 30% извлеченных из недр вскрышных и вмещающих пород, а также отходов их обогащения. Однако фактическое их использование не превышает 4%.

В качестве месторождений техногенного сырья следует также рассматривать полигоны захоронения радиоактивных отходов. При более высоком уровне развития технологий они могут служить источником добычи радиоактивных элементов. В России, по данным Н.П.Лаверова и др. (1994), в глубоких горизонтах захоронено 50 млн м³ жидких радиоактивных отходов.

С некоторой долей приближения в качестве техногенных месторождений можно рассматривать полигоны складирования твердых бытовых отходов с целью добычи метана, свинца, железа, стекла и других компонентов. Особо важное значение при разработке техногенных месторождений приобретают условия складирования и длительность хранения сырья. Из-за совместного складирования различных по составу и свойствам пород и бытовых отходов, изменения во времени их качества, гравитационной дифференциации и сегментации (особенно на хвостохранилищах), их перемешивания первоначальное качество материала существенно меняется и затрудняет извлечение полезных компонентов.

5.4. Ресурсы геологического пространства*

Определение и структура ресурсов геологического пространства

Подресурсом геологического пространства подразумевается геологическое пространство, необходимое для расселения и существования биоты, в том числе для жизни и деятельности человека. В общей систематике экологических функций литосферы (см. рис. 3) структура ресурсов геологического пространства включает: место обитания биоты, место расселения человека,местилище наземных и подземных сооружений, место захоронения и складирования отходов, включая высокотоксичные и радиоактивные.

Иной подход к структурированию ресурсов геологического пространства отражен на рис. 15. В нем реализован подход, позволяющий рассматривать литосферу и в качестве места обитания и расселения разнообразных представителей флоры и фауны.

* При участии Т.В.Андреевой, Л.А.Цукановой и Н.Д.Хачинской.

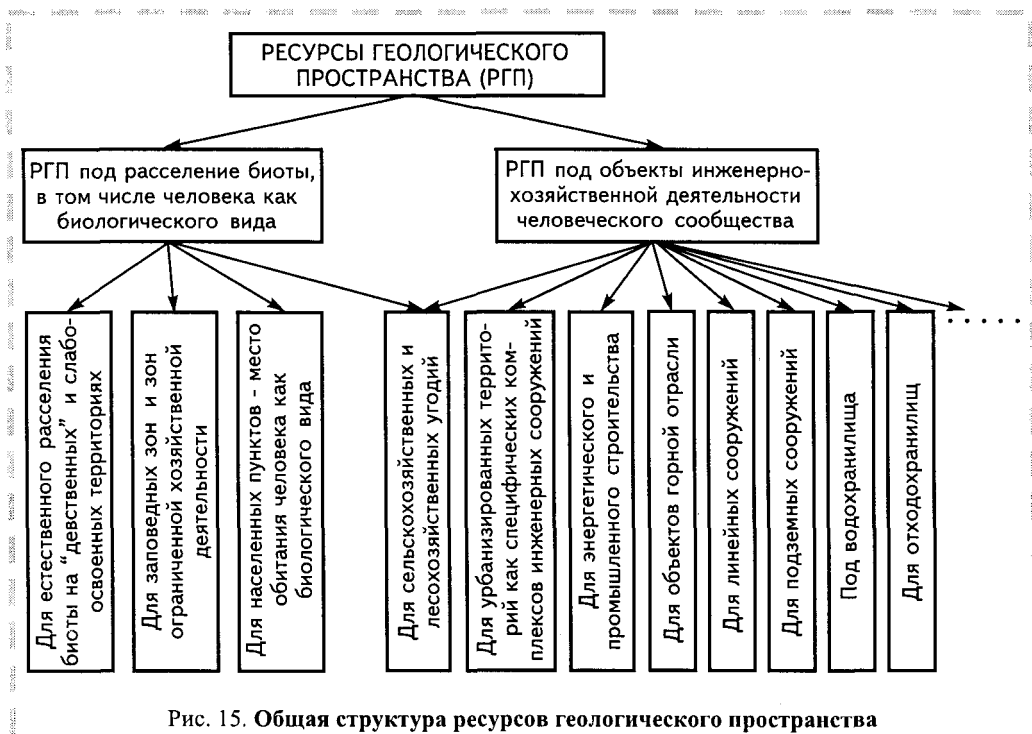


Рис. 15. Общая структура ресурсов геологического пространства

ры и фауны, включая человека как биологический вид, и в качестве пространства, активно осваиваемого человечеством как социальной структурой.

С точки зрения расселения биологических видов, включая человека, ресурсная роль литосферы достаточно очевидна и при умеренном техногенном воздействии подчиняется закономерностям, относящимся скорее к области биологии (при расселении человека - к области истории), нежели геологии. В случае интенсивного освоения территории (урбанизация, гидротехническое и мелиоративное строительство, добыча и переработка полезных ископаемых, сельскохозяйственное освоение и т.д.) вследствие нарушения природного равновесия происходит активное перерасселение и количественное и качественное изменение биоты. Именно в этом аспекте наиболее отчетливо проявляется взаимосвязь ресурсной функции литосферы с остальными экологическими функциями, так как в большинстве случаев изменение геохимических, геофизических или геодинамических свойств литосферы неизбежно приводит к существенному изменению ресурса геологического пространства для расселения того или иного биологического вида, в том числе человека. Иногда техногенная нагрузка, особенно в аварийных ситуациях, изменяет ресурс территории настолько, что даже человек - один из наиболее приспособленных биологических видов и, в силу своей технической оснащенности, имеющий возможность проживать в чрезвычайно разнообразных и весьма контрастных обстановках, бывает вынужден изъять эти территории из активного освоения и ограничить или совсем исключить проживание

на них (например, территория в эпицентре "Чернобыльского следа" в результате аварии на Чернобыльской АЭС).

Бытовавшие представления о том, что территории континентов неисчерпаемы для расселения и жизнеобеспечения биоты давно отвергнуты. В эпоху техногенеза поверхность Земли и подземное пространство стали важным природным и экологическим ресурсом. Интенсивное хозяйственное освоение территорий континентов существенно сокращает ресурс пространства для расселения всех видов животных и растений, особенно редких и требовательных к условиям существования. Одновременно создается и дефицит площадей под необходимые инженерные сооружения на освоенных, особенно урбанизированных территориях, необходимых для создания комфортных условий проживания человеческого общества.

Ресурсы геологического пространства и расширение инженерно-хозяйственной деятельности человечества

При рассмотрении литосферы в качестве среды инженерно-хозяйственной деятельности человека четко обособляются два пути оценки ресурсов геологического пространства: оценка "площадного" ресурса поверхности литосферного пространства и оценка ресурса подземного геологического пространства под различные виды его освоения. В каждом случае может быть много вариантов оценки применительно к различным видам инженерно-хозяйственной деятельности.

Первый из них - "площадные" ресурсы геологического пространства уже стали огромным дефицитом. В настоящее время человечеством освоено порядка 56% поверхности суши с тенденцией к дальнейшему нарастанию этого процесса. И если для ряда стран с большими земельными ресурсами проблема размещения промышленных, сельскохозяйственных и селитебных объектов еще не стала остро актуальной, то для небольших по площади государств с большой численностью населения она превратилась в важнейший экологический фактор социального развития, что находит отражение в стоимости земельных участков. Наиболее ярким примером является Япония, вынужденная для размещения промышленных объектов и зон отдыха засыпать прибрежные части морских акваторий и осуществлять строительство на насыпных грунтах. Другим примером является Голландия, где с помощью дамб защищают земельные угодья, необходимые для жизни, от затопления морем.

Ресурсы геологического пространства и урбанизация. Особенно остро, даже в сравнительно благополучных с точки зрения общей территориальной обеспеченности странах, стоит вопрос дефицита площадей на урбанизированных территориях. Как правило, это касается столиц и крупных промышленных центров. О темпах урбанизации красноречиво говорят следующие цифры: в начале XIX в. в городах мира проживало 29,3 млн человек (3% населения Земли), к 1900 г. - 224,4 млн (13,6%), к 1950 г. - 729 млн (28,8%), к 1980 г. - 1821 млн (41,1%), к 1990 г. - 2261 млн (41%). Городское население Российской Федерации к началу 1990 г. составляло около 74%. Доля городского населения, по данным на 1990 г., в Европе

составляла 73%, в Азии – 31, Африке - 32, Северной Америке - 75, Латинской Америке - 72, в Австралии и Океании - 71%. Всего в мире существует около 220 городов-миллионеров (более 1 млн жителей), самый крупный из которых - Мехико (9,8 млн). В Большом Лондоне 6,8 млн человек проживают на территории площадью более 1800 км², в Москве на площади 1000 км² проживает около 9 млн человек. При такой плотности населения создается специфическая ресурсная картина, при которой в качестве пригодных под застройку начинают рассматриваться территории со сложными инженерно-геологическими и экологическими условиями (территории бывших свалок, шлако-золоотвалы и т.п.). Высокая стоимость земли и жилья в мегаполисах, благодаря применению специфических архитектурных решений (повышение этажности, использование подземного пространства), обуславливает окупаемость даже очень дорогостоящих мероприятий по инженерной подготовке территории, включающих создание искусственных оснований (закрепленные методами технической мелиорации, насыпные), рекультивацию и санитарную очистку (деактивация, дезинфекция и пр.) территории. Все эти инженерные мероприятия направлены на экономию земельного ресурса.

Более напряженная ситуация в городах складывается с ресурсом территории под зеленые зоны, своего рода экологически необходимые оазисы. Это определяется самой природой парковой растительности, которую практически невозможно разместить ни в подвалах, ни на этажах. Для нормальной жизни в современном крупном городе нужно иметь 21-26 м² (до 50 м² по некоторым источникам) зеленых насаждений в расчете на каждого городского жителя, что составляет для Москвы 207 км² (около 1/5 площади города). Очевидно, что если в целом по городу этот показатель близок к норме, то картина по районам существенно отличается и существуют территории, явно испытывающие дефицит зеленых насаждений особенно в центре города. В условиях мегаполиса территориальный ресурс оказывается экономически выгоднее использовать под строительство административных и жилых зданий, нежели под закладку зеленых насаждений.

Следует подчеркнуть, что ограничивающим моментом при выборе мест под жилые зоны в пределах города могут быть геопатогенные зоны различного происхождения, в пределах которых у людей могут возникать проблемы со здоровьем. Характерно, что большинство геопатогенных зон не поддается ликвидации никакими известными в настоящее время методами (кроме отдельных зон техногенного происхождения, поддающихся рекультивации). К сожалению, этот вопрос на данный момент не достаточно изучен и зачастую не принимается во внимание, хотя он играет важную роль при определении ресурса геологического пространства под расселение человека как биологического вида, особенно под селитебную застройку в городских агломерациях.

Специфической проблемой ресурсов геологического пространства городов-мегаполисов является нехватка площадей под организацию кладбищ. Так, по данным Н.Г.Вакар и др. (1996), в Москве без учета зон санитарной охраны, начиная с 1964 г., изъято под эти цели 892 га земельных угодий, ресурсный потенциал которых в настоящее время практически исчерпан. При существующем режиме захо-

ронений, требующем постоянного привлечения дополнительных площадей, отвод земель под кладбища проводится без учета геологической и гидрогеологической обстановки, т.е. как ресурс геологического пространства под эти цели начинают рассматриваться территории, ранее признававшиеся непригодными. Это нередко противоречит санитарным нормам и вызывает существенное загрязнение окружающей среды. Очевидно, что все труднее находить в черте большого города и его ближайших окрестностях территории, отвечающие принятым нормативным актам и удовлетворяющие следующим условиям: сухие водопроницаемые грунты (пески, супеси, суглинки), расположенные на возвышенных местах с естественным дренажом и глубиной до уровня грунтовых вод не менее 2 м.

Налицо острый ресурсный кризис. По прогнозам, при сохранении существующей тенденции, в ближайшее время для организации кладбищ в Москве вместе с зоной санитарной охраны (300 м) потребуется около 2 млн га. Отметим, что территории, отчуждаемые под кладбища, по этическим соображениям выбывают из любого их использования на неопределенно длительный срок. Даже по санитарно-гигиеническим соображениям этот срок достигает приблизительно 100 лет.

Сложная ситуация в районах городских агломераций складывается и с ресурсом геологического пространства под размещение твердых бытовых и промышленных отходов. Например, в Московском регионе в середине 90-х годов действовало 139 полигонов бытовых и промышленных отходов общей площадью около 800 га; если же включать зону влияния этих полигонов, то они отчуждают гораздо большие территории часто в опасной близости к жилым зонам и сельхозугодьям.

Ресурсы геологического пространства и сложные гражданские и промышленные объекты. Ресурсы геологического пространства под размещение большинства сложных инженерных сооружений, оказывающих большие давления на грунт (0,5 МПа и более), в частности, таких объектов, как тепловые электростанции (ТЭС), металлургические заводы, телевизионные башни, небоскребы, определяются наличием благоприятных инженерно-геологических условий в районе предполагаемого строительства. Критерии выбора площадок под подобные сооружения относятся к области инженерной геологии, они достаточно хорошо разработаны, и их описание не входит в задачи данной работы. Отметим только, что эти сооружения в силу своей специфики, как правило, располагаются на хорошо освоенных территориях, часто в черте города или в непосредственной близости от него. Это предъявляет особые требования к их устойчивости и безопасности не только с инженерных, но и с экологических позиций.

Подобное расположение таких объектов в силу общего дефицита ресурсов геологического пространства на этих территориях нередко предполагает их строительство на участках с достаточно сложными инженерно-геологическими условиями. Такая ситуация вынуждает отдавать предпочтение конструктивным мерам обеспечения устойчивости, а не выбору наиболее оптимального с инженерно-геологической точки зрения участка. Основная ресурсная (как и геохимическая экологическая) проблема, связанная с ТЭС - размещение золоотвалов, что близка

к проблеме размещения отходов горно-обогатительной и горно-добывающей отраслей промышленности, рассматриваемой далее.

Основные ограничения при выборе участка под атомные электростанции (АЭС): высокая сейсмичность (более 8 баллов по шкале MSK-64); наличие мощных (более 45 м) толщ сильносжимаемых, просадочных, водорастворимых и разжижающихся грунтов; наличие активных разломов, карста и других потенциально опасных экзогенных геологических процессов; высокий уровень подземных вод (менее 3 м); наличие хорошо фильтрующих грунтов и грунтов с низкой сорбционной емкостью мощностью более Юм. Запрещается строительство АЭС над источниками водоснабжения с утвержденными запасами подземных вод, если не может быть обоснована невозможность загрязнения их радиоактивными веществами. В случае планового безаварийного функционирования атомной станции ее влияние на общий ресурс геологического пространства исчерпывается собственно занимаемой площадью; иногда развитие существенного подтопления прилегающих территорий искажает ресурсную картину, ограничивая их использование и вызывая изменения в сложившихся биоценозах. Главной же экологической опасностью АЭС является возможность радиоактивного загрязнения значительных площадей в аварийных ситуациях. Эти территории выпадают из любого использования на сотни, даже тысячи лет.

Ресурсы геологического пространства и гидротехническое строительство.

Ярко выраженной спецификой с точки зрения необходимого ресурса геологического пространства обладает гидротехническое строительство. Ресурс пространства в первую очередь определяется наличием водотоков и участков с благоприятными инженерно-геологическими условиями на них. Широко осуществлявшееся в недалеком прошлом крупное гидротехническое строительство в значительной мере исчерпало ресурс геологического пространства, пригодного под эти цели, даже в России, богатой водными и территориальными ресурсами. Сток многих крупных рек нашей страны зарегулирован.

Исторически и экономически сложилось так, что вдоль крупных водотоков сосредоточены города и другие населенные пункты, обширные сельскохозяйственные угодья. Это налагает дополнительные ограничения при выборе участков под размещение гидротехнических сооружений, особенно на равнинных территориях, где затопливаются значительные площади. Подобные экономико-социальные ограничения характерны для хорошо освоенных территорий. При сходных затопленных за счет гидротехнического строительства площадях, площади утраченных сельхозугодий и количество перенесенных строений в европейской части России и на освоенных территориях Сибири в десятки и сотни раз больше, чем на слабоосвоенных пространствах Сибири и Дальнего Востока. Так, на территории Восточно-Европейской платформы 11 самых крупных водохранилищ затопили примерно 3,2 млн га земель, из них 1,4 млн га приходится на сельхозугодья и около 1,2 млн га - на лесные массивы. Под водой оказалось 3500 населенных пунктов, 138 городов и поселков городского типа, 400 промышленных предприятий, 500 км железных дорог и около 4200 км автомобильных трасс. В общей сложности на тер-

**Площади затопления и количество перенесенных строений
для отдельных крупных водохранилищ бывшего СССР
(Гидроэлектростанции СССР, 1978)**

Гидроузел	Общая площадь водохранилища, км ²	Площадь затопленных сельскохозяйственных земель, тыс. га	Количество перенесенных строений
Ондский (р.Онда)	2070	1,19	286
Камский (р.Кама)	1915	68,10	9600
Воткинский (р.Кама)	1120	73,30	6641
Нижекамский (р.Кама)	2704	118,22	13 200
Куйбышевский (р.Волга)	6150	277,80	51 195
Саратовский (р.Волга)	1831	116,00	8176
Волгоградский (р.Волга)	3117	136,40	18 496
Рыбинский (р.Волга)	4550	256,00	26 754
Цимлянский (р.Дон)	2700	195,30	15 360
Кременчугский (р.Днепр)	2252	90,50	39 900
Новосибирский (р.Обь)	1070	28,10	8225
Бухтарминский (р.Иртыш)	5490	209,80	5500
Красноярский (р.Енисей)	2000	120,00	13 750
Братский (р.Ангара)	5470	166,30	15 571
Вилуйский (р.Вилуй)	2170	0,23	50
Зейский (р.Зея)	2419	3,90	—

ритории бывшего СССР из зоны затопления перенесено более 400 000 строений (табл. 30).

Отметим, что гидротехническое строительство не только само требует значительных территориальных ресурсов (общая площадь затопленных земель в бывшем СССР составляет более 80 000 км², из них порядка 33 000 км² приходится на сельскохозяйственные угодья), но и значительно влияет на общий ресурс и качество геологического пространства. Это влияние выражается в существенном изменении территории, прилегающей к водохранилищам. Так, для водохранилищ на равнинных реках характерно образование обширных мелководий, не столько увеличивающих полезный объем водохранилища, сколько создающих экологические проблемы, вплоть до изменения климата. В ряде случаев наблюдалось распространение нехарактерных для данного региона инфекционных заболеваний, например, малярии. На прилегающих к водохранилищам территориях активно развиваются такие процессы, как заболачивание, подтопление, оползнеобразование и др., ограничивающие хозяйственное использование этих территорий и вы-

зывающие замещение существующих биоценозов, т.е. процессы, сокращающие общий ресурс геологического пространства. Кроме того, сокращение ресурса геологического пространства прилегающих к водохранилищам территорий происходит за счет значительной переработки их берегов. На Цимлянском водохранилище за 25 лет она составила в среднем 40-60 м при максимальной величине 200 м.

В настоящее время существуют опасения, что территории, отчуждаемые под водохранилища, выбывают из общего ресурса на время, значительно превышающее срок эксплуатации гидроузлов. Донные илы существующих водохранилищ нередко настолько загрязнены техногенными примесями, что практически не подлежат рекультивации. В случае спуска водохранилищ, территории, покрытые этими осадками, могут оказаться не только непригодны для хозяйственного освоения, но и, в силу вероятного ветрового разноса, будут являться источником дополнительной экологической опасности для прилегающих территорий, качество ресурса геологического пространства которых также неизбежно будет нарушено.

Ресурсы геологического пространства горно-добывающих регионов. Остро стоит вопрос дефицита геологического пространства и в районах развития горно-добывающей и горно-перерабатывающей отраслей промышленности. По приближенным подсчетам А.М.Гальперина с соавторами (1997), при добыче угля и сланцев нарушено около 190 тыс. га земель, руд черных металлов - более 350 тыс. га, строительных материалов и горно-химического сырья - более 290 тыс. га. Наиболее емкими в отношении отчуждения природного геологического пространства являются предприятия угольной промышленности: добыча 1 млн т топлива сопровождается отчуждением в среднем около 8 га земельных угодий. При открытой разработке этот показатель увеличивается до 20 га/млн т, а на отдельных предприятиях достигает 30 га/млн т. Ежегодно в отрасли отводится до 5,4 тыс. га земельных площадей. По основным горно-добывающим регионам России при открытой разработке залежей более половины площади нарушенных земель приходится на внешние породные отвалы, хвосто- и шламохранилища. Для России и Украины существенным моментом является то, что часть угольных месторождений (например, Донбасс) расположены в районах развития уникальных черноземов, на исконных сельскохозяйственных угодьях. Отчуждение таких земель без предварительной "эвакуации" почвенного слоя наносит непоправимый экологический, а в конечном итоге, и экономический ущерб.

В горно-добывающих районах существенное нарушение территориального ресурса происходит за счет оседания земной поверхности над подземными выработками. Величины этих оседаний достигают в Московском угольном бассейне 2,5-3 м на площади 150 км², в Донбассе - 5-7 м на площади более 20 км². Осадки могут продолжаться в течение 3-20 лет и иногда носят провальный характер. Ущерб ресурсному потенциалу таких территорий часто не ограничивается неравномерным изменением уровня поверхности, нарушающим эксплуатацию существующих и ставящих под сомнение устойчивость проектируемых инженерных сооружений. В ряде случаев, при приуроченности зоны оседания к поймам рек наблюдается их подтопление и затопление. Например, в Западном Донбассе пло-

щадь затопления по ряду прогнозов может превысить 200 км при глубине образующихся водоемов до 6,5 м.

Наибольшая контрастность в перемещении земной поверхности над разрабатываемой залежью, и соответственно, наибольший ущерб ресурсному потенциалу территории наблюдается при подземной выплавке серы, где в непосредственной близости друг от друга могут находиться участки, испытывающие поднятие и опускание. На Язовском месторождении серы (Предкарпатье) при отработке площади 14,7 га площадь поднявшейся поверхности составила 3,3 га при максимальной величине поднятия 2,6 м. Одновременно здесь зафиксированы и оседания земной поверхности.

Существенный ущерб ресурсному потенциалу территорий наносит изменение гидрогеологических условий в результате законтурного водопонижения, шахтного и карьерного водоотлива. Формирование крупных депрессионных воронок площадью до 300 км² может не только нарушать принятую систему водоснабжения территории и приводить к оседанию земной поверхности, но и вызывать активизацию карстовых, суффозионных и провальных процессов. Провальные воронки могут достигать значительных размеров. Например, в районе Артемовского месторождения Донбасса образовалась мульда оседания, в результате чего часть домов, расположенных в ее пределах, была серьезно деформирована, а впоследствии - снесена.

Ресурсы геологического пространства и сельское и лесное хозяйство.

Ценность ресурсов геологического пространства для сельскохозяйственного производства определяется не только геологическими, но и зонально-климатическими факторами. В связи с этим ресурсы для сельскохозяйственного производства в зонах вечных льдов и безжизненных пустынь близки к нулю в природных условиях, несмотря на большие "свободные" площади. Для остальных территорий возможен тот или иной вид сельскохозяйственного производства, определяющийся их особенностями.

Необходимо отметить специфику ресурсов геологического пространства под сельскохозяйственное освоение, которые можно отнести как к ресурсам для хозяйственного освоения, так и к ресурсам для расселения биоты. В первом случае рассмотрения приоритет отдается техническим, технологическим и землеустроительным аспектам сельского и лесного хозяйства, при втором - экологическим аспектам естественного (природные леса, травы и т.д.) и искусственного расселения животных и растительных видов.

Как видно из приведенного обзора, практически все виды хозяйственной деятельности сокращают ресурс земель, пригодных под сельскохозяйственное освоение. Наблюдаемая тенденция настораживает: территории, рекультивация которых и возвращение в сельскохозяйственный оборот возможны, не восстанавливаются; под проектируемые и строящиеся объекты отводятся, вместо неудобий, лучшие плодородные земли. Более того, наблюдается потеря ресурса в ходе самого сельскохозяйственного производства. Например, мелиоративные мероприятия в ряде районов вызвали столь существенное вторичное засоление почв, что полно-

стью исключили эти земли из сельскохозяйственного оборота. Перевыпас скота (например, в Калмыкии) спровоцировал образование так называемых "черных земель" - пространств без растительности и плодородного слоя, с активно развитым процессом дефляции и наступающим опустыниванием, представляющих собой районы экологического бедствия.

Для условий России проблема сокращения сельскохозяйственного территориального ресурса ныне не носит острый характер. В случае отказа от имеющих место в настоящее время значительных поставок импортной сельскохозяйственной продукции и переориентации экономики на поддержку отечественного производства, дефицит земель в этой области, по-видимому, начнет ощущаться из-за утраты значительных плодородных площадей Украины, Белоруссии, Казахстана и пр.

Изучением и оценкой земельного ресурса занимаются науки не только геологического, но и географического и педологического направлений: геологи - с позиций рационального использования геологического пространства, географы - с позиций рационального использования ландшафта, а почвоведы - с позиций рационального использования почв для сельского хозяйства. Все эти научные направления, помимо решения инженерных и народнохозяйственных задач, обязаны оценивать рациональность и возможность использования той или иной территории с экологических позиций.

Ресурсы геологического пространства и подземное строительство. Разделение ресурсов геологического пространства на поверхностную и подземную составляющие в значительной мере условно. Однако оно принято нами, так как подземное строительство обладает ярко выраженной спецификой. Конкретная оценка ресурса подземного пространства определяется в основном теми же факторами, что и для поверхностной составляющей. Совершенно очевидно, что при освоении подземного пространства особенности геологического строения приобретают явно решающее значение. Кратко рассмотрим несколько возможных направлений оценки ресурса подземного пространства.

Одно из них связано с использованием подземного пространства на урбанизированных территориях. С учетом современных тенденций в градостроительстве этой проблеме уделяется все большее внимание. Строительство подземных коммуникаций, транспортных артерий, отдельных объектов, с одной стороны, ставит вопрос о рациональном использовании подземного геологического пространства, а с другой - оказывает нарастающее воздействие на комфортность существования человека. Налицо перерастание инженерных задач в экологические. Надо признать, что такой подход к оценке последствий освоения подземного пространства реализуется в единичных случаях и не принял пока обязательного статуса.

Близкое направление в оценке ресурсной функции литосферы связано с размещением в геологическом пространстве мест захоронения высокотоксичных и радиоактивных отходов. Объемы геологической среды, пригодные для этих целей, весьма ограничены не только в отдельно взятых странах, но и масштабе континентов. На фоне ежегодно нарастающих объемов отходов проблема ресурсов литосферы для их размещения становится все более острой и экологически ориентированной.

С некоторой долей условности с ресурсной функцией литосферы можно связать проблему перемещения флюидов в глубоких этажах литосферы. Энергетика глубинной миграции контролируется большой совокупностью геофизических факторов, среди которых определяющими являются термодинамическое состояние геологической среды и процессы эволюции гидрогеодинамического поля. Здесь и процессы геодинамической фильтрации с механизмом "блуждающего сита", обеспечивающие вертикально-горизонтальную миграцию флюидов в периоды интенсивных растягивающих напряжений в водоупорах, ранее обеспечивающих длительную герметизацию среды. К этой, еще слабо разработанной проблеме можно подходить либо с геодинамических позиций и рассматривать ее как природный процесс, либо с ресурсных, рассматривая ее как определенные ограничения в выборе объемов геологической среды для захоронения высокотоксичных отходов.

Существенные ресурсные проблемы встают при выборе мест захоронения любых видов отходов, в том числе и нетоксичных. Существенное изменение ресурсного потенциала прилегающих к отходохранилищам территорий создает дополнительные трудности при оценке ресурса геологического пространства под такие объекты.

Ресурсы геологического пространства и размещение отходов жизнедеятельности человеческого общества

Подходы к оценке ресурсов геологического пространства с точки зрения размещения отходов. Актуальность использования и поиск новых ресурсов геологического пространства для размещения различных видов отходов определяется в первую очередь громадными объёмами их производства и разнообразием их видов, большинство из которых требует индивидуального подхода при выборе места захоронения и утилизации. Различная степень токсичности и фазовый состав отходов предопределяет большое разнообразие способов захоронения: от простого складирования бытовых до глубинного захоронения высокотоксичных и радиоактивных отходов. Это, в свою очередь, определяет требования к среде их захоронения, количество необходимых инженерных мероприятий по защите территорий, а также и площади отчуждаемых земель, к которым относятся не только участки, занятые непосредственно отходами, но и прилегающие зоны, где экологическая ситуация часто изменяется в такой степени, что территория становится непригодной для существования отдельных биологических видов и дискомфортной для человека. Степень токсичности отходов влияет на величины нарушаемых площадей. Так, в случае складирования бытовых отходов те или иные изменения в состоянии окружающей среды прослеживаются в среднем в радиусе 1-2 км от полигона, в случае радиоактивных и высокотоксичных - это гораздо большие величины.

Рассмотрение ресурсов геологического пространства с точки зрения размещения отходов можно осуществлять по двум направлениям. Первое из них наиболее экологично; оно подразумевает оценку мест размещения различных отходов (су-

шествующих и перспективных) как причины ухудшения общей ресурсной картины территории. При этом, в первую очередь, рассматриваются зоны распространения негативного воздействия, оказываемого массивами отходов непосредственно на биоту, включая человека, в которых ухудшаются условия ее существования, а иногда происходит активное ее перераселение и даже вымирание. Здесь же рассматривается и сокращение ресурса геологического пространства с точки зрения длительной непригодности нарушенных земель для большинства видов хозяйственного использования. Причем, в ряде случаев даже после рекультивации нарушенные складированием или захоронением отходов массивы пригодны лишь для отдельных видов освоения и продолжают быть источником экологической опасности.

Второе направление является более "геологичным" и связано с оценкой ресурсов геологического пространства под размещение конкретных видов отходов. Оно включает оценку указанного ресурса как по экологическим и социальным, так и по геологическим критериям.

Следует подчеркнуть, что оптимизация размещения любых отходов требует учета нескольких факторов: экономического, экологического, социального и геологического. Все эти факторы по-своему влияют на сокращение (ограничение) площадей, пригодных под размещение тех или иных отходов.

Экономический фактор, ныне негласно являющийся приоритетным, предполагает оценку альтернативных вариантов с точки зрения стоимости транспортировки отходов к месту складирования (захоронения), строительства подъездных путей, стоимости отчуждаемой земли и дороговизну предварительных инженерных мероприятий. Так как в расчет, как правило, принимаются только прямые затраты на организацию захоронения отходов, часто наиболее выгодными признаются варианты, в дальнейшем приносящие существенный экономический урон вследствие необходимости восполнения (если это возможно) экологического ущерба окружающей территории и ликвидации разнообразных аварийных ситуаций.

Существенное значение при выборе места расположения отходов имеют также *социальные приоритеты*. К их числу следует отнести, например, наличие объектов, веками используемых человеком, либо представляющих для него в настоящее время наибольшую ценность (эксплуатируемые сооружения, урбанизированные территории, сельскохозяйственные угодья, залежи полезных ископаемых, акватории, заповедные территории, памятники истории и архитектуры и пр.). Особенностью критериев этой группы является то, что их значимость определяется человеком и, соответственно, субъективна и изменяется с течением времени.

Геологические факторы определяют степень благоприятности участка с тем или иным геологическим строением для захоронения отходов различного вида. Значимость этой группы факторов возрастает с увеличением токсичности захораниваемых отходов и, следовательно, с ростом глубинности могильника (полигона). Именно природные геологические факторы заставляют признавать целесообразными дорогостоящие основательные конструктивные (технические) меры инженерной и экологической защиты. Подобные конструктивные решения особенно распространены в странах с ограниченным территориальным ресурсом.

Обычная практика, несмотря на суровые требования законов по охране окружающей среды, ориентирована, прежде всего, на удобство выбранного участка с технической точки зрения и дешевизну захоронения отходов. Однако, с разумных позиций приоритетным в вопросе захоронения отходов должны быть экологические факторы, т.е. минимизация вредного воздействия от захоронения отходов. Хотя такой подход неизбежно приводит к увеличению стоимости удаления отходов, с течением времени он окупается сторицей. Естественно, идеальным является использование всех возможностей по изоляции отходов, но это зачастую оказывается экономически невыполнимым, поэтому в реальном случае должно приниматься компромиссное решение между "наиболее экономичным" и "наиболее экологичным" вариантами размещения отходов, на основе комплексного анализа всех вышеперечисленных факторов.

Оптимальным, с методологических позиций, является проведение анализа, в котором сопоставляются альтернативные варианты организации захоронений (полигонов) отходов, сравниваются возможный экологический и социальный ущерб и стоимость мероприятий по обеспечению надежной изоляции отходов. Обычно сравнивается четыре-пять вариантов по соотношению ущерба и затрат, в том числе "нулевой" (не предусмотрена никакая защита, именно здесь ведущее место занимает ресурс геологического пространства) и наиболее надежный (предусмотрены все возможные меры защиты), а также варианты другого территориального расположения полигона и ряд других "промежуточных".

Виды и объемы отходов и их влияние на ресурсный потенциал геологического пространства и его качество. Многообразие отходов деятельности человеческого сообщества иллюстрирует рис. 16. Эти отходы занимают огромные площади. Только в России суммарная их площадь, по данным В.И.Данилова-Данильяна (1997), составляет более 500 тыс. га, а негативное воздействие отходов на окружающую среду проявляется на территории, в 10-15 раз превышающей указанную площадь. Большинство отходов активно взаимодействуют с окружающей средой (литосферой, атмосферой, гидросферой и биосферой). Продолжительность "агрессивного" (активного) существования отходов зависит от их состава. При хранении все отходы претерпевают изменения, обусловленные как внутренними физико-химическими процессами, так и влиянием внешних условий. В результате этого на полигонах хранения и захоронения отходов могут образоваться новые экологически опасные вещества, которые при проникновении в литосферу будут представлять серьезную угрозу для биоты.

Города - самые крупные производители отходов. Статистические данные показывают, что в условиях современной технологии при более высоком уровне экономического развития страны в ее границах образуется и большее количество отходов в расчете на душу населения. Средняя норма накопления мусора в развитых странах колеблется от 150-170 (Польша) до 700-1100 кг/чел. в год (США). В СССР в 1992 г. этот показатель равнялся 350 кг/чел. в год. В Москве ежегодно образуется 2,5 млн т твердых бытовых отходов (ТБО), а средняя норма "производства" ТБО на одного человека в год достигает примерно 1 м³ по объему и 200 кг по массе (для

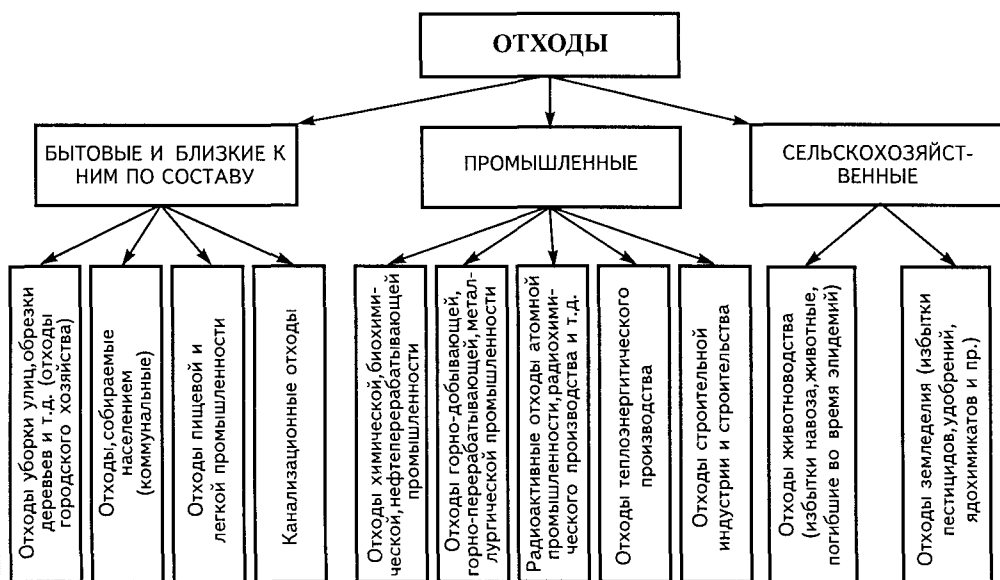


Рис. 16. Классификация отходов по происхождению

крупных городов рекомендуется норматив $1,07 \text{ м}^3/\text{чел. в год}$. Во Франции ежегодно образуется 26 млн т бытовых отходов, в Италии - около 18 млн т, в Германии - 28 млн т. Твердые бытовые отходы чрезвычайно разнородны по составу: пищевые остатки, бумага, металлолом, резина, стекло, древесина, ткань, синтетические и другие вещества. Пищевые остатки привлекают птиц, грызунов, крупных животных, трупы которых являются источником бактерий и вирусов. Атмосферные осадки, солнечная радиация и выделение тепла в связи с поверхностными и подземными пожарами способствуют протеканию на полигонах ТБО разнообразных, часто не предсказуемых физико-химических и биохимических процессов, продуктами которых являются многочисленные токсичные для биоты химические соединения в жидком, твердом и газообразном состояниях.

Среднесуточные объемы сточных вод в Москве составляют около $6,3 \text{ млн м}^3/\text{сут}$ в том числе бытовых сточных - $4,6 \text{ млн м}^3/\text{сут}$. Несмотря на строительство очистных сооружений, требующих отчуждения значительных площадей, снижение негативного воздействия таких сточных вод на окружающую среду продолжает оставаться важной проблемой всех урбанизированных территорий. Особая опасность в этом случае связана с бактериальным загрязнением геологического пространства, которое не только снижает его ресурсный потенциал, но и может вызывать вспышки эпидемических заболеваний в прилегающих селитебных зонах.

Количество промышленных отходов в развитых странах в 2-3 раза превышает по массе бытовой мусор. Размещение свалок бытовых и промышленных отходов существенно меняет строение поверхностных отложений в городах и на их окраинах. Сегодня в среднем на каждого жителя планеты в год добывается около 20 т сы-

рья, которое перерабатывается в продукты потребления и примерно до 90-98%, по данным В.А.Харченко (1995), идет в отходы. Во Франции и Италии ежегодно образуется около 50 млн т промышленных отходов, в Германии - до 370 млн т, в том числе 250 млн т строительного мусора, 50 млн т коммунальных осветленных шламов. Промышленные отходы, как и ТБО, разнообразны по химическому составу (см. рис. 16).

Добыча твердых полезных ископаемых (уголь, горючие сланцы, фосфориты, соли, руды металлов и радиоактивных элементов, гипс, глинистое и цементное сырье) вызывает как нарушение сложившихся гидродинамических, геохимических условий, так и перемещение, складирование огромных масс горных пород, содержащих многие токсичные химические элементы и соединения. Примерами могут служить терриконы угольных шахт, отвалы вблизи карьеров при наземной добыче сульфидных руд. Эти терриконы и отвалы подвергаются интенсивной физико-химической обработке под воздействием многочисленных природных факторов и являются крупными источниками комплексного загрязнения окружающей среды.

На территории России ежегодно накапливается 3,5 млрд т техногенных отходов. Их основными производителями являются предприятия угледобывающей и углеперерабатывающей отраслей промышленности, черной и цветной металлургии, промышленности по производству минеральных удобрений и строительных материалов. Основную массу горно-промышленных отходов (около 95%) составляют вскрышные, вмещающие породы и отходы обогащения. Около 2% составляют металлургические шлаки и столько же золы и шлаки тепловых электростанций, менее 1% составляют фосфогипсы и электротермофосфорные шлаки.

Наибольшее количество вскрышных, вмещающих пород и отходов обогащения (около 40%) накапливается на предприятиях угольной промышленности, где сочетаются большие объемы добычи и высокая доля открытых разработок. Особенно велики объемы вынимаемых из недр вскрышных пород в Кузбассе, Красноярском крае, Амурской области. Второе место по количеству отходов (около 30%) занимает черная металлургия. Основной объем базируется на железорудных карьерах Курской магнитной аномалии, Урала. В цветной металлургии в связи с тем, что преобладает подземная добыча, выход отходов меньше (около 12%). На горно-добывающих предприятиях остальных отраслей суммарный годовой выход вскрышных пород и отходов обогащения составляет около 15% от общей суммы горно-промышленных отходов.

Среди промышленных отходов значительную часть составляют токсичные, в частности, отходы химического, радиохимического и атомно-энергетического производства, требующие особо тщательной изоляции от биосферы; ресурсы геологического пространства под размещение таких объектов особенно ограничены. Таких отходов на территории Российской Федерации на начало 1996 г. накоплено в хранилищах, на складах, могильниках, полигонах, свалках 1 405 млн т, при ежегодных темпах накопления порядка 90 млн т. Объемы сельскохозяйственных отходов также огромны. Например, только в Италии их ежегодный объем - свыше 100 млн т. Отходы сельскохозяйственного производства - навозохранилища,

оставшиеся на полях остатки ядохимикатов, химических удобрений, пестицидов, а также не обустроенные кладбища животных, погибших в период эпидемий. Хотя эти отходы имеют "точечный" характер, их большое количество и высокая концентрация в них токсичных веществ могут оказать заметное отрицательное воздействие на окружающую среду.

Несмотря на то, что обобщенные мировые данные по площадям и ценности отчуждаемых под отходохранение земель в настоящее время не существуют, объемы отходов говорят сами за себя. Очевидно, что такое количество вещества занимает огромные площади, сокращая общие ресурсы геологического пространства.

Поэтому проблема ресурсов геологического пространства для размещения отходов всех видов, даже в нашей территориально богатой стране, стоит достаточно остро, особенно вблизи городских агломераций, горно-добывающих и горно-обогатительных предприятий. При этом следует ясно представлять, что *в качестве изымаемых ресурсов геологического пространства для захоронения отходов необходимо рассматривать не только территорию, которую предполагается непосредственно занять отходами, но и прилегающую зону, на которой будет в течение того или иного срока ощущаться негативное влияние складирования или захоронения этих отходов, т.е. всю территорию, общий ресурсный потенциал и качество которой будут в той или иной степени нарушены предполагаемым размещением отходов.*

Ущерб ресурсному потенциалу верхних горизонтов литосферы носит двоякий характер. С одной стороны, это эстетическое "обеднение" территории, прилегающей к месту расположения отходов, особенно в случае поверхностного складирования: мало кому понравится наблюдать романтический пейзаж свалки-гиганта из окна квартиры или офиса. Радиус подобного эстетического воздействия определяется удаленностью мест складирования от населенных пунктов и зон отдыха, рельефом и залесенностью местности, а также этажностью близлежащей жилой застройки. Это воздействие сравнительно легко устранимо в процессе рекультивации.

С другой стороны - это загрязнение, распространяющееся от места размещения *бытовых отходов* на значительное расстояние (табл. 31) и оказывающее негативное влияние на здоровье людей, а также вызывающее изменение существующих биоценозов (рис. 17). Загрязненные территории обладают пониженным

Таблица 31

**Радиусы негативного воздействия полигонов
твердых бытовых отходов**

Вид воздействия	Радиус воздействия, м
Распространение биогаза (неприятный запах)	300-400
Распространение токсичного дыма (при горении)	До 6000
Загрязнение почвенно- растительного покрова	2000-3000
Загрязнение грунтовых вод	2000-3000
Загрязнение поверхностных вод	До 2500
Тепловое загрязнение	До 50
Угнетение растительности	До 150

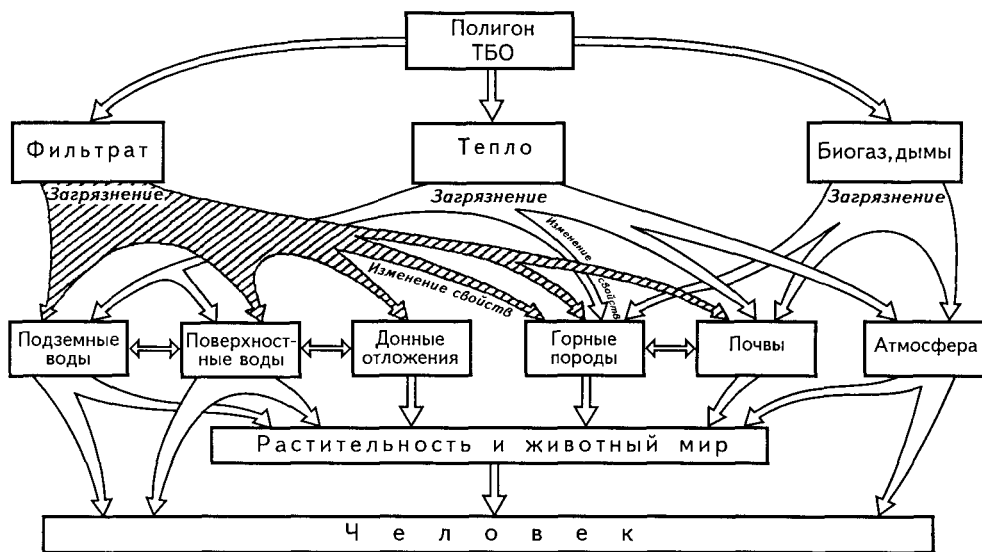


Рис. 17. Основные аспекты воздействия полигонов ТБО на компоненты окружающей среды и человека (по В.В.Бабаку, 1991)

ресурсным потенциалом как в плане расселения и комфортности проживания биоты, так и в плане их хозяйственного освоения.

При оценке качества ресурса геологического пространства следует учитывать, что в толще бытовых отходов образуется высокоминерализованный фильтрат. Концентрация некоторых компонентов в распространяющемся фильтрате может достигать величин более 100 ПДК и более 1000 от местных фоновых значений. Растекание фильтрата приводит к загрязнению почв, растительности, по трофическим цепям загрязнение может попадать в пищу. Загрязнение почвенно-растительного покрова на полигонах хранения и захоронения твердых и опасных отходов связано с усвоением почвами и растениями загрязняющих веществ, мигрирующих от этих источников в латеральном и вертикальном направлениях. Почва представляет собой контрастный геохимический барьер, на котором накапливаются тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды и многие другие опасные загрязнители. Гумусовое вещество и микроорганизмы в почвах вызывают их трансформацию, образование высокотоксичных соединений типа метилртути, алкила свинца. Радиус ореола негативного воздействия на почвенно-растительный покров крупных свалок твердых бытовых отходов достигает 2-3 км. По данным Л.П.Грибановой и соавторов (1990), почвы в районе Щербинского полигона Москвы загрязнены в радиусе 0,5-1,5 км цинком, медью, хромом, никелем и свинцом.

Потоки загрязненных вод со свалок перехватываются геохимическими барьерами разного рода (окислительно-восстановительный, глеевый, сорбционный и др.), гидродинамическими ловушками (бессточные водоемы, старичные озера поймы, болота). Многие токсичные вещества (серебро, медь, никель, ниобий, олово,

ртуть, кадмий) интенсивно накапливаются в донных отложениях поверхностных водотоков и водоемов.

Однако заметная часть загрязнителей, растворенных в воде, путем инфильтрации проникает в подземную гидросферу. Происходит загрязнение грунтовых вод, и за счет перетекания - более глубоких водоносных горизонтов. Длительное поступление в подземные воды загрязненного поверхностного стока от полигонов ТБО может привести к образованию обширных и контрастных гидрохимических полей разнообразных токсичных веществ в водоносных горизонтах питьевого водоснабжения.

Еще большие экологические последствия наблюдаются при складировании отходов *горно-добывающей и горно-обогатительной отраслей промышленности*. Из огромных объемов добываемого в мире минерального сырья, исчисляемого десятками миллиардов тонн, используется лишь 5-10%. Остальное количество представляет собой отходы горно-добывающего и горно-перерабатывающих производств, или так называемые техногенные образования. Они представлены отвалами некондиционных полезных ископаемых, вскрышных и вмещающих пород, отходами обогатительного (хвосты, шламы), металлургического (шлаки, золы), энергетического (золы, пыли) и других производств и составляет большую часть (70-80%) суммарной массы твердых, жидких и газово-пылевых отходов всех технологически необходимых производств. Виды и радиусы негативного воздействия полигонов складирования отходов этих видов промышленности приведены в табл. 32.

Не меньшую опасность представляют отходы химического сырья, которые занимают большие площади. На калийных предприятиях в результате обработки ру-

Таблица 32

Радиусы негативного воздействия полигонов складирования отходов горно-добывающей и горно-перерабатывающей отраслей промышленности

Вид воздействия	Радиус воздействия, м
Загазованность (при горении)	Более 300
Распространение токсичного дыма (при горении)	До 10 000
Загрязнение почвенно-растительного покрова	До 5000
Загрязнение подземных вод	Более 5000
Загрязнение поверхностных вод	Более 10 000
Тепловое загрязнение	До 100
Пылевое загрязнение	До 20 000
“Геодинамическое” (техногенные оползни и другие опасные процессы)	1000 и более (в случае катастрофических сценариев)
Подтопление территории	Более 1000
Угнетение растительности	1000-3500

ды в отходы попадают галитовая рыхлая масса и соляно-глинистая пульпа с примесями химических реагентов. Из галитовых отходов формируют солеотвалы высотой более 100 м. Из этой массы в теле солеотвала формируется особая порода высокой плотности и прочности. Эти отвалы являются постоянным источником засоления почв, пород, подземных и поверхностных вод.

Все вышеперечисленное приводит к существенному изменению ресурсного потенциала геологического пространства прилегающей к отвалам и шламохранилищам территории и ухудшает его качество как для проживания биоты, включая человека, так и некоторых видов хозяйственной деятельности. Изменение ресурсного потенциала прослеживается на значительные расстояния от границ отходохранилища (см. табл. 32). Подчеркнем, что в каждом конкретном случае неизбежно проявляется специфика данного отходохранилища, поскольку набор воздействий, связанных с его функционированием, может существенно изменяться. Например, для отвалов из негорючих материалов нехарактерны загазованность и горение, отвалы сухих пород не вызывают подтопления территории, по крайней мере на первых этапах их функционирования.

Потенциально еще более негативно экологическое воздействие *полигонов захоронения радиоактивных и высокотоксичных отходов*. Первые - радиоактивные отходы (РАО) - источник радиоэкологической опасности. Обращение с РАО как с обычными промышленными отходами, применявшееся на начальных этапах деятельности атомной промышленности как в нашей стране, так и за рубежом, показало (Лаверов и др., 1994), что опасность, связанная с РАО, была серьезно недооценена. Трагические последствия этих действий заставили прекратить неконтролируемый сброс жидких отходов. Отходы низкого и среднего уровней радиоактивности начали сливать в открытые замкнутые водоемы, а высокоактивные (ВАО), помещенные в специальные емкости, накапливались в заводских хранилищах.

После ряда аварий технология хранения жидких ВАО была существенно модифицирована. Однако проблемы переработки ВАО, их концентрирования и захоронения, как и вопрос о локализации жидких отходов среднего и низкого уровня активности, оставались во многом еще неразрешенными. Такая ситуация поставила развитие атомной промышленности в зависимость от решения проблемы захоронения отходов. Ответом на указанную ситуацию явился разработанный в начале шестидесятых годов совместными усилиями специалистов ряда организаций простой и экономичный способ захоронения жидких отходов в глубокозалегающих водоносных горизонтах с замедленным водообменом. Активное использование данного способа обеспечило возможность работы Сибирского химического комбината (Томск), Горно-химического комбината (Красноярск), Научно-исследовательского института атомных реакторов (Димитровград). К настоящему времени в водоносных горизонтах захоронено, по данным Н.П.Лаверова и соавторов (1994), 50 млн м³ жидких отходов, в том числе и высокоактивных, суммарная радиоактивность которых составляет порядка 2 млрд Ки.

Как известно, требования МАГАТЭ не допускают захоронения отходов в жидком виде, а предусматривают обязательный их перевод в отвержденную форму.

Особенно строг этот запрет в отношении отходов, содержащих долгоживущие радиоизотопы трансурановой группы, что обусловлено ненадежностью прогноза развития экосистем на длительный период. Любые геологические или техногенные факторы, способные вызвать нарушение гидродинамического режима, могут привести к проникновению радионуклидов в экосферу. Признавая недостатки захоронения РАО в жидком виде, необходимо констатировать, что опасность, обусловленная РАО, находящимися в водоносных горизонтах, намного меньше той, которая связана с отходами, находящимися на поверхности.

В заключение подчеркнем, что результаты специальных исследований, выполненных как в России, так и за рубежом, свидетельствуют о том, что масштаб и интенсивность негативного воздействия крупных полигонов размещения отходов на окружающую среду более значительны, чем недавно было принято считать. С точки зрения ресурса геологического пространства зоны, подвергшиеся подобному негативному воздействию, полностью или частично изымаются из общего его ресурса на различные сроки: от нескольких десятков лет (зоны полигонов твердых бытовых отходов, отвалов и т.д. и прилегающие к ним) до десятков тысяч лет (участки захоронения радиоактивных отходов).

Основные требования к качеству ресурсов геологического пространства при организации отходохранилищ. Промышленные и бытовые отходы, во всевозрастающих количествах производимые человеческим сообществом, существенно нарушают экологическое равновесие территорий и снижают ресурсы геологического пространства. Поэтому выбор оптимальных с эколого-геологических позиций мест захоронения отходов сопряжен с необходимостью строжайшего выполнения требований к планировке и обустройству полигонов захоронения и технологического режима их эксплуатации. Этими факторами и определяются граничные условия для оценки ресурсов геологического пространства в местах захоронения отходов.

Требования к местам размещения *полигонов твердых бытовых отходов* с оценкой ресурса геологического пространства этих территорий регламентированы рядом нормативных и директивных документов (например, Инструкцией по проектированию полигонов захоронения твердых бытовых отходов, 1995). В качестве запрещающих факторов регламентированы особые гидрогеологические условия, уклоны местности, склонные к пучению грунты, наличие провалов и закарстованных массивов, качество земельного ресурса.

Рекомендуется под территории полигонов выбирать участки с глинистыми или тяжелосуглинистыми грунтами и грунтовыми водами, расположенными на глубине более 2 м. Запрещается использовать участки с выходом грунтовых вод в виде ключей и затопляемые паводковыми водами территории, а также располагать полигоны ТБО в районах геологических разломов. Под полигоны рекомендуется отводить отработанные карьеры, свободные от ценных пород деревьев, овраги и другие территории.

Размеры зоны санитарной охраны полигона и применяемое оборудование должны выбираться с учетом реальных особенностей состава и строения геологи-

ческого пространства, процессов загрязнения и ответной реакции биосферы на функционирование полигонов.

Подчеркнем, что при таком анализе необходима комплексная, по возможности исчерпывающая, оценка всех параметров воздействия отходов на все жизнеобеспечивающие природные среды, позволяющая выяснить пути и механизмы проникновения загрязняющих веществ в пищевую цепь и организм человека, длительность этого воздействия и радиус его распространения. Подобные исследования позволят в конечном итоге четко очертить вокруг действующих и предполагаемых полигонов зоны ограниченного ресурсопользования (зоны с нарушенным ресурсным потенциалом, в том числе и ресурсом геологического пространства) и избежать попадания в них различных объектов социальной структуры, а также охраняемых природных объектов.

Еще более жесткие требования предъявляются к геологическому пространству при захоронении *радиоактивных отходов*. Эти требования тесно связаны с классификационными характеристиками отходов (высокоактивные-низкоактивные, с долгоживущими-короткоживущими отходами и т.п.) и формой их нахождения (жидкие, твердые).

Другими факторами, определяющими экологическую безопасность захоронения этих отходов или устройство могильника, являются технологические решения и методы. Все они направлены на решение основной задачи захоронения - надежной изоляции РАО от экосферы на период их потенциальной опасности для человека. Следует отметить, что технологические способы безопасного захоронения низко- и среднеактивных отходов в настоящее время хорошо разработаны и необходима их *качественная* практическая реализация.

Наиболее сложной и пока еще окончательно нерешенной проблемой, по Н.П.Лаврову (1994), является обеспечение безопасного захоронения *высокоактивных* отходов, так как даже незначительная по объему утечка из подземного могильника вследствие высокой удельной активности может представлять экологическую опасность.

Не останавливаясь на инженерных барьерах (консервирующая матрица, металлический контейнер, сорбент), кратко обозначим **эколого-геологические** требования к четвертому, главному барьеру, каковым является толща горных пород, отделяющих радиоактивные отходы от экосферы. Именно ими во многом регламентировано место выбора размещения высокотоксичных отходов. Информация по этому вопросу систематизирована в табл. 33 с указанием использованных источников информации и предложенных классификаций.

Перечисленные требования к выбору типа геологической среды под захоронение радиоактивных отходов создают лимит геологического пространства, пригодного для этих целей. Для малых стран и сейсмоопасных территорий подобный ресурс крайне ограничен, а в ряде случаев вообще отсутствует. Эти страны должны идти по пути более дорогостоящего технологического решения проблемы, а не по пути выбора мест оптимального захоронения.

Критерии оценки ресурса геологического пространства под захоронение радиоактивных отходов

Тип критерия	Критерии оценки	Наличие фактора			Максимальный балл	
		1	2	3	1	2
Геологический	Распространенность благоприятных типов пород, занимающих основную площадь	+	+	+	5	3
	Наличие сорбционноемких пород выше уровня могильника	+	-	+	4	Не опр.
	Наличие слоистого осадочного чехла выше уровня могильника	+	+	-	2	1,5
	Состав выбранных пород (кристаллических)	+	-	+	2	Не опр.
	Петроплотностная характеристика пород	-	+	-	Не опр.	1,2
	Мощность консолидированной земной коры	-	+	-	"-	0,9
	Мощность коры выветривания	-	+	-	"-	1,5
	Глубина залегания поверхности фундамента	-	+	-	"-	0,9
Геотектонический	Уровень сейсмической активности	+	+	+	5	1,2
	Проявленность новейших разломов	+	+	+	5	1,8
	Повторяемость землетрясений	-	+	-	Не опр.	0,9
	Интенсивность теплового потока	+	+	-	5	0,6
	Геотектонический режим	+	+	+	5	1,5
	Скорость (градиент) вертикальных движений	+	+	-	5	1,2
	Амплитуда вертикальных движений	-	+	-	Не опр.	1,5
	Древнее и современное напряженное состояние	-	+	+	"-	1,5
	Глубина поверхности Мохо	-	+	-	"-	0,6

Гидрогеологический	Плотностная дифференциация мантийно-коровых блоков	-	+	-	-"	0,9
	Глубинные аномалии силы тяжести	-	+	-	-"	0,9
	Средняя высота над уровнем моря	-	+	-	-"	1,2
	Геотермический градиент	-	+	-	-"	0,6
	Распространенность безводных типов вмещающих сред	+	-	+	4	Не опр.
	Гидродинамический режим водонасыщенной вмещающей среды	+	+	+	4	0,9
	Удаленность очагов разгрузки	+	-	+	4	Не опр.
	Влияние состава подземных вод на растворимость радионуклидов	+	-	+	4	-"
	Среднегодовой подземный сток	-	+	-	Не опр.	0,9
Зонально-климатический	Водопроводимость	-	+	+	Не опр.	1,5
	Характеристика структуры водопроницаемости	+	-	+	3	Не опр.
	Зависимость вмещающей среды от климата	+	-	+	3	-"
	Распространенность мерзлых пород	+	-	-	3	-"
	Количество осадков	-	+	-	Не опр.	0,6
	Среднегодовой поверхностный сток	-	+	-	-"	1,2
Социально-экономический	Максимальный модуль дождевого стока	-	+	-	-"	0,6
	Наличие минеральных и энергетических ресурсов	+	-	+	5	Не опр.
	Плотность населения	-	+	+	Не опр.	1,2
	Наличие охранных объектов	-	+	-	-"	0,6

Примечание: 1 – по Б.Т.Кочкину (1996); 2 – по В.Н.Морозову и В.Н.Татаринovu (1996); 3 – по Н.П.Лаверову (1994).

Захоронение *жидких* низко- и среднеактивных радиоактивных отходов в глубоких водоносных горизонтах до сих пор применяется в ряде стран, в том числе и в России, и имеет ряд своих сторонников среди ученых, занимающихся проблематикой удаления радиоактивных отходов. А.И.Рыбальченко с соавторами (1994) разработал следующие критерии пригодности геологической среды для подобных захоронений:

размещение жидких радиоактивных отходов ограниченных объемов возможно в глубокозалегающих пористых породах (пластах-коллекторах);

отходы изолируются в пределах устанавливаемых границ благодаря низкой проницаемости перекрывающих пласты-коллекторы слоев пород, обладающих водоупорными свойствами, и низких скоростей естественного движения подземных вод в пласте-коллекторе;

пласты-коллекторы, пригодные для захоронения жидких отходов, должны удовлетворять ряду требований, в частности, иметь мощность, протяженность, пористость, проницаемость, обеспечивающие возможность закачки в них проектных объемов отходов, а также перекрываться и подстилаться водоупорами и залежать на значительной глубине в зоне застойных вод или замедленного водообмена;

размещение жидких радиоактивных отходов в геологической формации не должно приводить к развитию процессов, препятствующих захоронению и снижающих степень изоляции отходов;

при взаимодействии жидких отходов с горными породами и подземными водами желателен переход радиоактивных нуклидов-компонентов радиоактивных отходов в твердую фазу - в горные породы. В результате чего образуются залежи компонентов, представляющие собой техногенные месторождения;

режимы захоронения жидких радиоактивных отходов не должны приводить к нарушению геодинамической устойчивости геологической среды: нарушению сплошности пласта-коллектора, вызванной сейсмичности;

А.К.Лисицин и А.Н.Сысоев (1996) приводят следующие определяющие критерии выбора мест захоронения жидких радиоактивных и токсичных промышленных отходов:

для сооружения могильников наиболее пригодны геологические структуры древних и молодых платформ, характеризующиеся новейшей тенденцией к опусканию, невысокой сейсмичностью и низким теплоэнергетическим потенциалом, исключаяющим сколько-нибудь значительный конвективный теплоперенос по направлению к дневной поверхности;

для могильников наиболее благоприятны водоносные комплексы нижнего гидродинамического этажа, в которых продолжительность цикла водообмена больше времени распада радионуклидов до предельно допустимых концентраций или до верхнего предела естественного радиоактивного фона;

безопасное захоронение жидких радиоактивных отходов на геологическую продолжительность обеспечивается в **пластовых** водоносных горизонтах нижнего гидрогеологического этажа с соленостью подземных вод не меньше исходной ми-

нерализации седиментационных вод под водоупорными толщами регионального распространения;

дополнительной гарантией изоляции от экосферы служит наличие над пластом-коллектором буферного пластового водоносного горизонта с замедленным водообменом. Во всяком случае на предполагаемом участке для захоронения должны отсутствовать гидродинамические, гидрохимические и атмосферические аномалии. Отсутствие гелиевых аномалий в подземных водах и в подпочвенном воздухе служит одним из наиболее надежных признаков изоляции экосферы от глубоких недр.

Районы захоронения жидких радиоактивных отходов требуют отчуждения значительных территорий под зоны санитарной охраны и контроля. Закачки, как правило, осуществляются непосредственно на территориях промышленных предприятий в неизбежной близости от селитебных зон, водоснабжение которых зачастую осуществляется за счет верхних водоносных горизонтов этого же гидрогеологического разреза [70]. Это делает безопасность подобных типов захоронения чрезвычайно зависимой от катастрофических сценариев как природного, так и техногенного происхождения (землетрясения, активизация разломов, технические неполадки и т.д.). В случае реализации подобных сценариев, территория полностью выпадает из общего ресурса геологического пространства на неопределенно долгий период.

Ресурсы геологического пространства и проблема их восстановления

Накопление огромных объемов техногенных отходов на полигонах, в отвалах, хвостохранилищах, в навозохранилищах и в пределах других объектов вызывает нарушения природных ландшафтов, загрязнение всех составляющих окружающей среды, приводит к изъятию из хозяйственного оборота огромных площадей, т.е. к сокращению ресурсов геологического пространства. В горной отрасли в связи с истощением запасов высококачественных (богатых) руд и вовлечением в эксплуатацию во всевозрастающих количествах бедных и труднообогатимых руд скорость накопления отходов постоянно возрастает. Эта тенденция на ближайшую перспективу сохранится, а, следовательно, для размещения отходов потребуются еще большие дополнительные территории. Увеличение общего потребления приводит к росту количества бытовых отходов. Противовесом рассмотренной тенденции, является рекультивация нарушенных территорий - единственный рациональный путь восстановления ресурсов геологического пространства.

Прежде всего следует отметить, что до сих пор отсутствует приемлемая экономическая методика, оценивающая процесс рекультивации отходов. Иногда высказываются мнения о мнимой неэффективности такой рекультивации, однако при этом не принимаются во внимание социальные, санитарно-гигиенические и другие аспекты неэкономического характера. Тем не менее, рекультивация во всех развитых странах все больше становится одним из основных направлений полити-

ки в области снижения загрязнения окружающей среды и экономии сырьевых и территориальных ресурсов.

Рекультивации мест захоронения отходов особое внимание, по вполне понятным причинам, уделяется в Японии. Специалистами этой страны убедительно показана возможность использования массивов бывших свалок после их рекультивации для зон отдыха. При этом подчеркивается, *что вопросы рекультивации мест захоронения должны решаться еще на стадии проектирования свалок*. В качестве позитивного примера приводится случай создания парка для отдыха населения в городе Осака, на участке, где было захоронено 2900 тыс. м³ отходов. Общая площадь парка 104 га, он оборудован детскими и спортивными площадками, искусственными водоемами, специальными зонами отдыха.

Интересен в инженерном и социальном аспекте план захоронения промышленных и бытовых отходов на морском побережье в районе г.Тиба в Японии. Здесь в 1930 г. началось строительство защитной дамбы протяженностью 1320 м, балочного моста длиной 82 м и дренажной системы пропускной способностью 1000 м³/сут, а в 1988 г. - подготовка земельного участка площадью 17,1 га путем отсыпки на прибрежной части моря 1,6 млн м³ промышленных и бытовых отходов с последующим строительством спортивного комплекса. Начато сооружение центрального волнолома с использованием бытового мусора и других отходов, которое намечалось закончить к 1990 г. После этого предлагается начать засыпку большого участка залива, куда будет перенесен международный аэропорт Ханеда.

В районе порта Симидзу с 1978 г. велись работы по засыпке бытовым, строительным и другим мусором побережья на протяжении около 1450 м. Площадь насыпного участка составляет 26 га, из которых для портового строительства будут использоваться 6,8 га, для разбивки парка - 7,8 га, для строительства дорог - 8,3 га. В настоящее время эти работы близятся к концу. Стоимость их оценивается в 10 млрд иен.

Близкая задача решалась польскими учеными. При обсуждении вопросов строительства на балтийском побережье зоны для хранения промышленных отходов было предложено техническое решение постройки хвостохранилища, обеспечивающее чистоту моря и стабильность водного режима. Последним оно существенно отличается от практики сброса отходов в море в Японии, где в районе Токио около 60% бытовых отходов сбрасывается в Токийский залив, что привело к интенсивному загрязнению окружающей среды, сопровождаемому специфическими заболеваниями и случаями отравления среди населения.

В России проблема рекультивации закрытых свалок также актуальна, так как во многих быстрорастущих городах они со временем оказываются в черте городской застройки и возникает необходимость хозяйственного использования территорий старых свалок. Исследования С.В.Делятицкого (1990), проведенные на свалке, эксплуатировавшейся в течение 20 лет и закрытой в 1960 г., показали следующее. Более чем на 50% исследованной территории существуют опасные экологические условия: продолжается газогенерация и содержание метана и двуокиси углерода заметно превышает норму (1,8% метана при фоновой 0,0002% и 24,7% дву-

оксида углерода при фоновой 0,0003%), содержание свинца в 11 раз превышает ПДК, хлороформенного экстракта выше 0,16%, органического углерода 10-26%, суммарный показатель загрязнения тяжелыми металлами 32-128. Эти данные убедительно показывают, что давно закрытые свалки, даже засыпанные грунтом сверху, зачастую продолжают быть источниками повышенной опасности для биоты, в том числе человека и требуют проведения дополнительных рекультивационных работ.

Рекультивация территорий бывших свалок часто решает лишь часть проблем, связанных с восстановлением ресурсного потенциала геологического пространства. Закрытые полигоны (в течение 50-60 лет после рекультивации) только ограниченно пригодны для хозяйственного освоения, на них по санитарно-гигиеническим нормам нежелательно жилищное строительство. В течение длительного времени на них не восстанавливается полноценная растительность (произрастает только рудеральная), продолжают размножаться животные-паразиты (грызуны), являясь разносчиками опасных инфекционных заболеваний.

Следует отметить, что такое неблагоприятное и длительное последствие от закрытой и рекультивированной свалки наблюдается при условии недостаточных предварительных и промежуточных профилактических мероприятий в районе складирования отходов, при отсутствии необходимых конструктивных решений при ее организации. Именно такая картина наблюдается в настоящее время на большинстве действующих полигонов в России. Например, в Москве ежегодно образуется 2,5 млн т твердых бытовых отходов. Основная часть их (до 90%) утилизируется на специальных полигонах Тимохово и Хметьево. Полигоны работают с конца семидесятых годов, и их срок функционирования в ближайшее время заканчивается. На этих полигонах до сих пор отсутствуют минимально необходимые природоохранные сооружения, такие как водоохраные экраны, системы отвода и обезвреживания фильтрата и поверхностных вод, ограждения границ полигона, оборудования для мойки машин и др. Не производится послойная укладка отходов с ежедневной засыпкой грунтом, полив водой, так как отсутствует необходимая специализированная техника. Это очень далеко от многих санитарных полигонов, организуемых в развитых странах.

Эти полигоны (иногда их на Западе называют санитарными свалками) оборудуются по специальной технологии. Дно свалки, а затем и поверхность отходов планируется с небольшим уклоном, на котором выстилается прочная полиэтиленовая пленка. Ежедневно засыпанные на такую пленку отходы уплотняются специальными катками, затем засыпаются слоем грунта (песка, глины) и снова уплотняются. Сверху снова накладывается пленка, на которую складываются отходы. Они вновь уплотняются, перекрываются песком и т.д. И так каждый день. В нижней части разреза свалки имеется сток и сборник жидкостей, фильтрующихся из отходов и грунта, которые по мере наполнения вывозятся на переработку. По заполнении свалки последними слоями отходов до проектной отметки проводится планировка рельефа, посадка травы и растений и другие необходимые работы. Через несколько лет на месте санитарных свалок можно устраивать поля для гольфа.

При этом, чем лучше отсортированы отходы, тем меньше вероятность просадки поверхности массива в последующие годы (Никитин и др., 1997).

В последнее время стали применять после сортировки твердых бытовых отходов прессование в брикеты со значительным уменьшением в 5-10 раз их объема. Это значительно увеличивает срок службы санитарных полигонов (в 3-5 раз) и уменьшает просадку грунта в последующие годы.

Подобная организация функционирования полигонов твердых бытовых отходов кроме экологической целесообразности обладает еще и очевидными ресурсосберегающими особенностями:

укатанные и спрессованные отходы требуют меньших площадей под захоронение (непосредственная экономия территориального ресурса);

налицо значительное сокращение зоны влияния такого полигона на окружающую среду, а значит и зон с ограниченным ресурсным потенциалом;

постоянная "промежуточная" рекультивация отходов (укатка, пересыпка грунтом) при условии правильной подготовки делает такой полигон пригодным под организацию зон отдыха уже через несколько лет после его закрытия, а значит сокращает срок изъятия этой территории из общего ресурса геологического пространства.

С целью экономии территориального ресурса широко используется отсыпка строительного мусора и шлаков для планировки застраиваемых городских территорий. Значительные мощности антропогенных отложений, включающие большие объемы строительных отходов, зол и шлаков и приуроченные к депрессиям рельефа, известны в Москве (24 м), Воронеже (до 20 м), Волгограде (до 3,7 м), Новгороде (до 14 м), Саратове (до 12 м), Санкт-Петербурге (до 10 м), Ростове-на-Дону (до 25 м) и т.д. В Москве смесью грунта, зол и строительных отходов засыпано более 100 км долин рек, ручьев и оврагов. На таких антропогенных отложениях возводятся большие многоэтажные массивы.

Существенную проблему составляет восстановление ресурсов геологического пространства, нарушенного горным производством. Часть отвалов, состоящих из нетоксичных отходов (пород вскрыши и вмещающих пород), со временем покрываются растительностью, на них образуется или отсыпается искусственный плодородный слой. Такие отвалы, особенно при предварительной планировке территории, вполне могут использоваться как основания под любые инженерные сооружения, как места создания зеленых зон и т.д. Территории, занимаемые такими отвалами, изымаются из общего ресурса геологического пространства только на незначительный срок их активного образования, а затем начинается естественный или техногенный этап восстановления ресурса, протекающий достаточно быстро (первые десятки лет).

Отвалы, хвосто- и шламохранилища с повышенным содержанием различных экологически опасных элементов слабо поддаются рекультивации, образуя стойкие экологически негативные геохимические и гидрогеохимические аномалии на прилегающих территориях. Такие отхоохранилища практически полностью исчерпывают ресурс территории, на которой находятся в течение периода, исчис-

ляемого сотнями лет. Так как отходы горных производств крайне не выгодно транспортировать на значительные расстояния от предприятия, дефицит площадного ресурса в горно-добывающих районах ощущается очень остро. Решением этой проблемы отчасти являются: утилизация и вторичное использование отходов добычи и обогащения руд в качестве техногенных минеральных ресурсов; рациональное их складирование с увеличением высотности отвалов и хвостохранилищ и организацией хранения по принципу "отход на отход", например, создание шламоохранилища на старых солеотвалах, образующих противифльтрационный экран. Очевидно, что подобные решения не только способствуют восстановлению и экономии минерально-сырьевого ресурса, уменьшению транспортных расходов в горной отрасли, но и приводят к значительной экономии ресурсов геологического пространства прилегающей территории.

Вопрос вторичной переработки касается не только отходов горной отрасли, но и твердых бытовых отходов и отчасти радиоактивных. Подобная переработка уменьшает объем отходов, требующих захоронения, и тем самым уменьшает потребность в ресурсе геологического пространства для этих целей.

Основными методами переработки твердых бытовых отходов являются: сжигание и биотехнологические с получением биогаза, удобрений или биотоплива. Только Франция и Япония широко используют сжигание. Биотехнологический метод получил, по данным А.Н.Мирного (1997), наиболее широкое распространение в России. Специалисты многих стран считают именно биотехнологические методы наиболее перспективными в переработке ТБО после их сортировки. Однако, до сих пор основная часть отходов складывается на занимающих огромные площади полигонах и свалках (табл. 34). В связи с этим проблема дальнейшего использования пространства бывших отхоохранилищ стоит достаточно остро.

В заключение подчеркнем, что можно выделить две группы отходов, резко отличающиеся по продолжительности отчуждения геологического пространства. В первую, наиболее обширную группу попадает большинство отходов, негатив-

Таблица 34

**Соотношения технологий переработки твердых бытовых отходов
в ряде зарубежных стран, %
(Земля и человечество, 1985; Б.Н.Ласкорин и др., 1984)**

Технология переработки	США	Англия	Франция	ФРГ	Япония	Средние данные
Полигоны-свалки	84	90	55	78	57	74,7
Термический метод (сжигание)	15	9	35	20	40	23,1
Переработка в удобрения		1	10	2	2	1,4
Прочие методы	1				1	0,8

ное последствие захоронения которых, даже при отсутствии рекультивационных мероприятий, ограничивается десятками лет (максимум не многим более 100 лет). Во вторую группу попадают в основном радиоактивные, а также часть других токсичных отходов. Зоны санитарной охраны подобных отходовранищ непригодны для большинства видов хозяйственной деятельности на протяжении от 500 до 10 000 лет.

Литература

Бгатов В.И. Подходы к экогеологии. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1993. - 222 с.

Богдановский Г.А. Химическая экология. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. - 234 с.

Бондаренко С.С., Лубенский Л.А., Куликов Г.В. Геолого-геологическая оценка месторождений подземных промышленных вод. - М.: Недра, 1988. - 203 с.

Гальперин А.М., Фёрстер В., ШефХ.-Ю. Техногенные массивы и охрана окружающей среды. - М.: Изд-во Моск. горного ун-та, 1997. - 534 с.

Геологическая служба и развитие минерально-сырьевой базы. - М.: ЦНИГРИ, 1993. - 617 с.

Гидроэлектростанции СССР. - М.: Минэнерго СССР, 1978. Часть 1. - 351 с. Часть 2. - 363 с.

Горшков С.П. Эколого-географические основы охраны природы. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. - 124 с.

Звягинцев Д.Г. Почвы и микроорганизмы. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. - 256 с.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432 с.

ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

6.1. Определение, значение и структура геодинамической экологической функции литосферы

Под геодинамической экологической функцией литосферы понимается функция, отражающая способность литосферы влиять на состояние биоты, безопасность и комфортность проживания человека через природные и антропогенные (техногенные) геологические процессы и явления. Их проявление и развитие в природных условиях связано как с внешними космическими факторами, так и со сбросом (разрядкой) напряжений в геофизических полях Земли, а воздействие геологических процессов на биоту - с перемещением вещества земной коры и преобразованием рельефа. Следовательно, геодинамические экологические свойства литосферы обусловлены как энергетической составляющей литосферы, так и динамикой ее вещественного состава, включая рельефообразующие факторы. Становление этих свойств литосферы шло параллельно с эволюцией Земли и биосферы и отличалось пульсационным развитием. Эпохи активизации геологических процессов и катастроф сменялись этапами их затухания и стабилизации. На современном этапе особое значение в оценке влияния на биоту имеют антропогенные геологические процессы - порождение эпохи техногенеза, резко усилившей активность и динамику как природных процессов, так и вызвавшей к жизни развитие так называемых антропогенных геологических процессов.

Отличительной чертой геодинамической функции является возможность ее реализации как непосредственно в виде негативного по отношению к биоте явления, так и опосредованно - через ресурсную, геофизическую или геохимическую функции. Так, оценку площадной эрозии можно рассматривать через интенсивность процесса и площадную пораженность им определенной территории (геодинамический критерий оценки), либо через потерю или сокращение запасов гумуса, земельных ресурсов (ресурсный критерий оценки).

В настоящее время наметились два пути, два подхода к оценке воздействия геодинамического фактора литосферы на биоту. Первый из них связан с анализом и оценкой воздействия отдельных геологических процессов или их парагенетических комплексов, главным образом, на человека и по существу сводится к выявлению экологических последствий проявления этих процессов. Второй подход связан с изучением современных геодинамических зон и аномалий литосферы и их интегральным воздействием на биоту, включая человека. Эти зоны определяют особенности распределения напряженного состояния массивов горных пород, раз-

вите участков **повышенной** трещиноватости и проницаемости, что, в свою очередь, влияет на особенности циркуляции подземных вод, интенсификацию неблагоприятных геологических и экологически опасных техногенных процессов. Активные геодинамические аномалии могут контролировать проникновение физических и химических загрязнителей в литосферу, влиять на окружающий ландшафт, биологические объекты, на здоровье человека и существенно снижать ценность земельных ресурсов, влиять на уровень земельной ренты в пределах городских территорий.

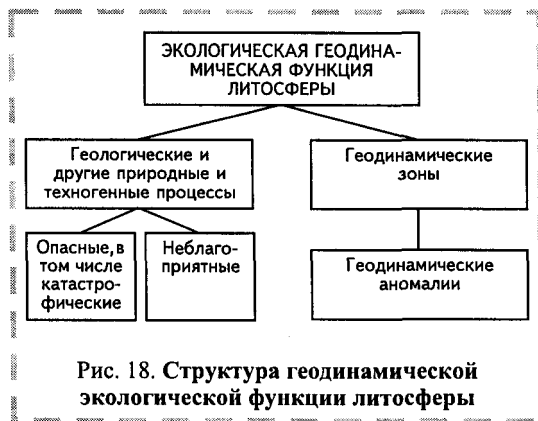


Рис. 18. Структура геодинамической экологической функции литосферы

Исходя из сказанного, объектом изучения эколого-геодинамических исследований будут геологические процессы и геодинамические зоны и аномалии, а предметом изучения - знания о воздействии этих компонентов литосферы на **биоту**. Именно в предмете исследования наиболее рельефно видны различия между изучением геологических процессов различными геологическими науками.

Структура геодинамической экологической функции литосферы определяет-ся объектом ее изучения и включает в себя ряд иерархических уровней. На первом уровне рассматриваются все геологические процессы и геодинамические зоны. На втором иерархическом уровне выделяются группы геологических и некоторых других природных (гидрологических, климатических и др.) и техногенных процессов, различающихся по характеру проявления и воздействия на экосистему и человека, и геодинамические аномалии. В схематическом виде такая структура представлена на рис. 18.

6.2. Геологические процессы и их экологические последствия*

Систематика геологических и других природных процессов по экологическим последствиям

Вопросам классифицирования природных, в том числе и геологических процессов, посвящен не один десяток публикаций. К ним относятся классификации основоположников инженерной геодинамики П.Ф.Саваренского (1937), П.Н.Панюкова (1978), И.В.Попова (1959), В.Ф.Ломтадзе (1977), Г.С.Золотарева (1983),

* При участии Н.С.Красиловой.

А.И.Шеко (1999) и некоторых других авторов. Классификации построены в основном по генетическому принципу, но ни одна из них не учитывает влияние этих процессов ни биоту.

В последние годы появилось несколько классификаций природных процессов с учетом экологических последствий их проявления. К ним следует отнести классификацию неблагоприятных и опасных природных процессов и явлений С.М.Мягова (1997). В зависимости от физической сути явления, длительности и площади проявления, а самое главное по характеру воздействия на экосистему им выделены три типа этих процессов:

оказывающие преимущественно разрушительное воздействие (падение метеоритов, ураганы, тайфуны, смерчи, наводнения, землетрясения, цунами, потоки вулканических лав и пепла, обвалы, оползни, сели, лавины, подвижки ледников);

оказывающие парализующее или истощающее воздействие (дефляция почвы, овражная эрозия, заиление водохранилищ и др.);

способные вызвать природно-технические катастрофы (карст, термокарст, термоэрозия, солифлюкция и др.).

Вторая группа классификаций природных процессов экологической направленности (Кофф, 1997; "Безопасность России. Правовые социально-экономические и научно-технические аспекты", 1999), учитывает тяжесть последствий проявления процессов для человека через оценку социально-экономического ущерба. Все процессы подразделены на две группы: приводящие и не приводящие к гибели людей. Однако в наибольшей степени для решения поставленной задачи соответствует классификация природных и геологических процессов, предложенная Н.С.Красиловой (1997) под руководством В.Т.Трофимова. Она построена с учетом числа возможных жертв от проявления тех или иных процессов и возможной площади поражения, а также временных и пространственных характеристик того или иного процесса (рис. 19). Однако и эта классификация не в полной мере обеспечивает учет экологических последствий от проявления процессов, так как такая оценка многофакторна. Дело в том, что любой ряд процессов, построенный по числу жертв достаточно условен и относителен, так как зависит от интенсивности процесса, плотности населения, научно-технического уровня развития общества и территориальной принадлежности. Кроме того, далеко не каждое проявление опасного процесса сопровождается человеческими жертвами.

Можно предложить еще одну экологически ориентированную классификацию природных процессов, в определенной мере синтезирующую основные положения ранее названных классификаций. Она построена на учете прямого воздействия процессов на человека, на экосистему в целом и опосредованного воздействия процессов на комфортность проживания человека через деформацию или постепенное разрушение инженерных сооружений. Соответственно выделяется три блока (группы) процессов: катастрофические, опасные и неблагоприятные. Они хорошо увязываются с определенными видами критериев оценки экологического состояния литосферы и зон нарушенности экосистем, а также основными функциональными единицами при зонировании территорий. В схематическом ви-

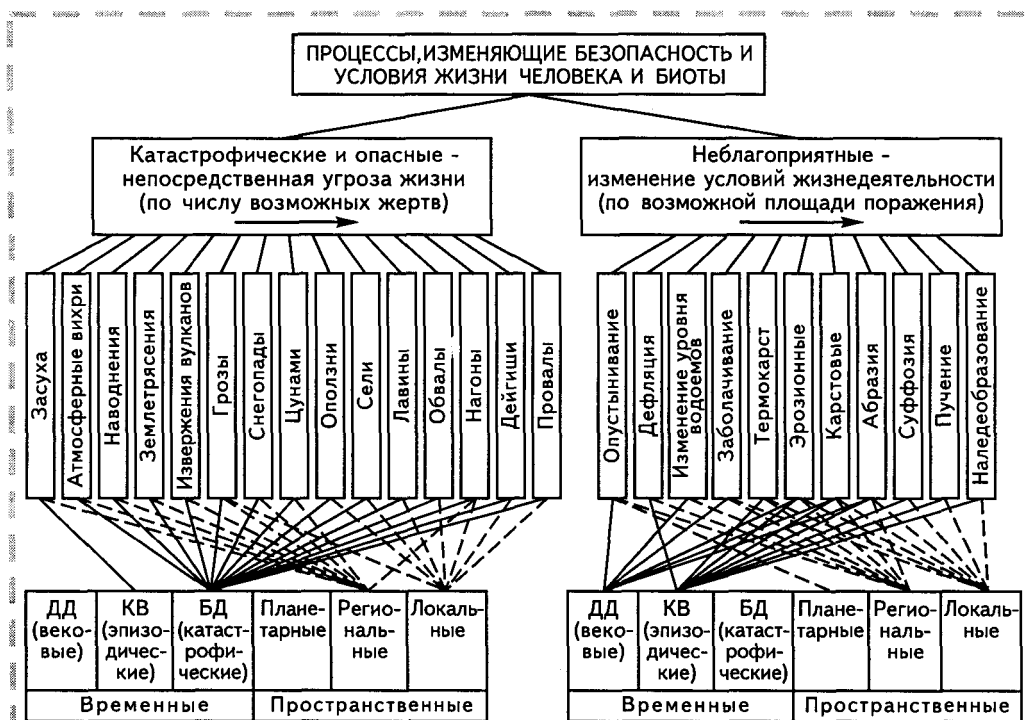


Рис. 19. Систематика геологических и других природных процессов по интенсивности негативных воздействий на биоту, включая человека
(из книги "Теория и методология экологической геологии", 1997)

ДД – длительнодействующие (вековые); КВ – кратковременные (эпизодические); БД – быстродействующие (катастрофические)

де такая классификация приведена на рис. 20. По отмеченным позициям она удобна в практическом применении при разработке легенд к картам эколого-геодинамических условий и эколого-геодинамического районирования.

Реализованные в последних двух классификациях признаки деления процессов (критерии классифицирования), особенно по числу человеческих жертв, требуют пояснений.

Непосредственная угроза жизни возникает только при определенной интенсивности проявления процесса (табл. 35). Она оценивается по различным параметрам (скорость, амплитуда, высота подъема, площадь, радиус действия) и по индивидуальной шкале с персональным числом градаций (от 3 - для оползней и извержений вулканов до 12 - для землетрясений). Так, по 12-балльной шкале MSK-64 оценки интенсивности землетрясений катастрофы происходят только при сейсмических толчках в 9 баллов и выше, по 6-балльной шкале Амбрейсиза оценки интенсивности цунами - при волнах в 5-6 баллов, по четырехразрядной шкале оценки подъема воды в реках и площади затопления при наводнениях - только при наводнениях 1 категории, а по трехразрядной шкале оценки скорости смещения

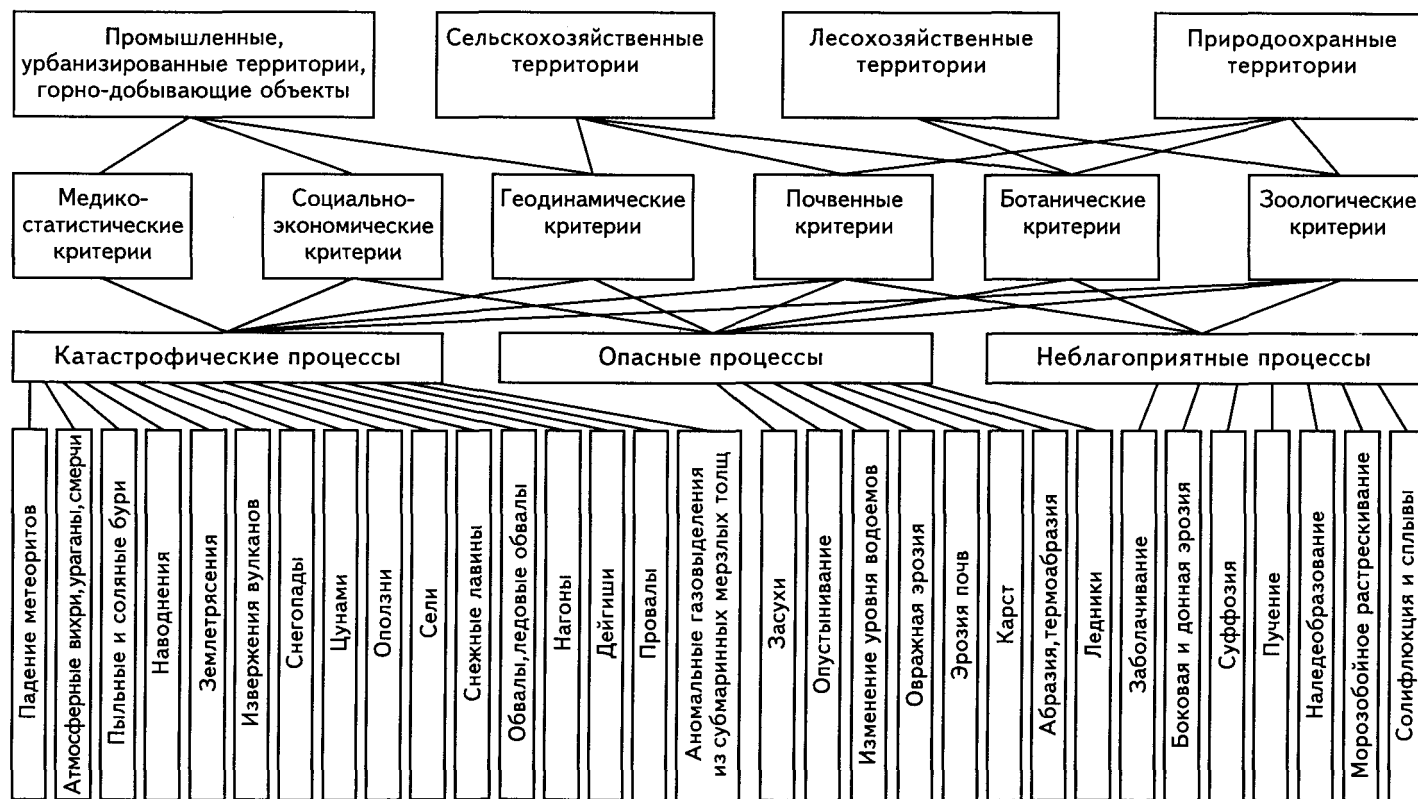


Рис. 20. Подходы к систематике природных процессов по характеру воздействия на человека и экосистемы (по Д.Г.Зилингу, М.А.Харькиной, 1999, с дополнениями)

Таблица 35

**Катастрофические и неблагоприятные последствия проявления геологических и других природных процессов для человека
в зависимости от их интенсивности**

Характеристика процесса				Интенсивность (в баллах), вызывающая последствия проявления процесса		Литературный источник, год
Наименование	Название шкалы	Измеряемый параметр	Число градаций по интенсивности	катастрофические при интенсивности	неблагоприятные при интенсивности	
Землетрясение	MSK-64	Сотрясение поверхности земли	12	9-12	1-8	Медведев С.В., 1965
Цунами	Амбрейсиза	Амплитуда волны	6	5-6	1-4	Кукол З., 1985
Речные наводнения	По уровню подъема воды	Уровень подъема воды и площадь затопления	4	1	2-4	Гинко С.С., 1977
Извержения вулканов	По радиусу действия	Степень механического термического и химического воздействий	3	1-2	3	Певзнер М.М. и др., 1994
Сели	По объему	Объем вынесенного твердого материала	4	4	1-3	Флейшман С.М., 1978
Оползень	По скорости смещения	Скорость смещения	3	3	1-2	Кукол З., 1985

пород —при быстрых оползнях со скоростью смещения десятки метров в час. В целом прослеживается такая общая закономерность: чем сильнее проявляется природный процесс, тем больше человеческих жертв. Исключение составляют лавины. По многолетней статистике, по данным М.В.Родкина и Н.В.Шебалина, от лавин средних размеров гибнет больше людей, чем от крупных.

Вероятно, здесь вступает в силу уже другой фактор катастрофического проявления природных процессов - плотность населения и степень освоенности территории. Катастрофы с человеческими жертвами может и не быть, если природные катаклизмы высокой интенсивности произошли в ненаселенных районах планеты.

Так, мощнейшее Гоби-Алтайское землетрясение магнитудой 8,1, балльно-стью в эпицентре - 11, состоявшееся 4 декабря 1957 г., ощущалось на площади 5 млн км² (включая почти всю территорию Монголии, юга Бурятии, Иркутской и Читинской областей и северные провинции Китая). Однако жертвы среди населения были незначительны из-за малой плотности населения в полупустыне Гобийского Алтая.

Третьим фактором, определяющим количество жертв среди населения, является научно-технический уровень развития общества, отражающий степень разработанности системы прогноза, предупреждения и предотвращения возможных катастроф. Если потенциально катастрофический процесс предсказан, если приняты меры по предотвращению его пагубных последствий для человека (например, возведены защитные дамбы, применены сейсмостойкие конструкции при строительстве зданий и сооружений, проведена своевременная эвакуация населения), то катастрофы для человеческого сообщества в экологическом понимании может и не быть, хотя социально-экономические последствия будут весьма ощутимы.

Сами катастрофические процессы, как правило, имеют тяготение к определенным регионам, где они чаще всего происходят и приводят к наибольшему количеству жертв, образуя региональный ряд по этому показателю. Для Африки характерны засухи, для Индии - наводнения, для Тихоокеанского побережья Америки - ураганы и тайфуны. Такие же зоны выделяются на территории России: извержения вулканов и цунами происходят чаще всего в Курило-Камчатской зоне, а сели, оползни и обвалы - в горах Кавказа и Урала.

Весьма интересны высказывания В.И.Данилова-Данильяна (1997) по этому вопросу. Он писал, что в отношении геологических процессов их катастрофическая оценка достаточно субъективна по отношению к человеку. Так, медленно текущие опасные процессы (регрессии и трансрегрессии моря, опустынивание и другие), проявляющиеся на обширных территориях на протяжении многих лет, не влекут катастроф, как и сильные землетрясения в ненаселенных или малонаселенных районах с легкими переносимыми жилищами. А относительно маломощный селевой поток может быть катастрофическим. Другими словами, для разных территорий, отличающихся уровнем хозяйственного освоения, численностью проживаемого населения и типом инженерных сооружений, один и тот же геологический процесс равной мощности (интенсивности) может классифицироваться как катастрофический и неблагоприятный. Именно с этим связано появление еще несколь-

ких терминов - "бедствие", "ползучая катастрофа", чтобы в какой-то мере отразить нюансы катастрофического процесса.

Территории, на которые катастрофические процессы оказывают воздействие, по размерам подразделяются на планетарные, региональные и локальные. Планетарный уровень - наиболее объемный. В целом это сфера жизнедеятельности биоты. Элементами неоднородности на данном уровне являются материки и океаны. К процессам, оказывающим воздействие на всю планету, можно с уверенностью отнести падение астероидов и комет, которые приводили к массовому вымиранию биоты. Ряд массовых вымираний фауны на суше происходил при разрушении гигантских комет в зоне земной орбиты, повлекшим за собой резкое увеличение межпланетной пыли и уменьшение солнечной инсоляции.

Следующий по размерам площади воздействия - региональный уровень. Элементами неоднородности на этом уровне являются складчатые области, щиты и платформы, сейсмодислокации, вулканические пояса и связанные с ними новейшие тектонические движения. К процессам регионального воздействия относятся землетрясения, цунами, извержения вулканов, наводнения, засухи, вихри, снегопады. Их воздействие распространяется на целые регионы. Так, катастрофические наводнения охватывают, как правило, несколько речных систем, катастрофические смерчи на Русской равнине при скорости 50-60 км/ч в среднем проходят путь длиной 50 км, разрушительные цунами воздействуют на прибрежную полосу длиной около 500 км, а раскаленные лавовые потоки при извержении вулканов способны проходить путь до десятков километров.

Характерной особенностью проявления процессов регионального воздействия является слабое влияние на них антропогенных факторов. Это в основном природные процессы. Исключением являются вызванные (или наведенные) землетрясения, возникающие при эксплуатации крупных горных водохранилищ или при закачке сточных вод в глубокие скважины в районах сейсмической активности. Однако по данным многолетних наблюдений они никогда не достигают максимальной интенсивности, а, следовательно, и катастрофических последствий для человека.

На локальном уровне элементами неоднородности являются особенности геологического строения и свойства пород. К процессам локального воздействия относятся оползни, сели, лавины и карстовые провалы. Так, площадь поражения у наиболее распространенных процессов - оползней зависит от типа и объема смещения. Она, как правило, составляет 600-1200 м². В связи с ограниченностью площади поражения оползни уносят меньшее число человеческих жизней, чем региональные процессы, особенно в густонаселенных районах. На локальном уровне более сильно сказывается техногенная нагрузка, способная ускорить катастрофическое развитие природных процессов или даже вызвать их.

Одной из особенностей развития природных катастрофических процессов является каскадность их проявления: землетрясения провоцируют возникновение оползней, обвалов и селей, а в некоторых случаях - штормы и цунами (рис. 21). Неблагоприятные последствия для человека от этих вторичных природных процессов не менее значительны, чем от первородного процесса.

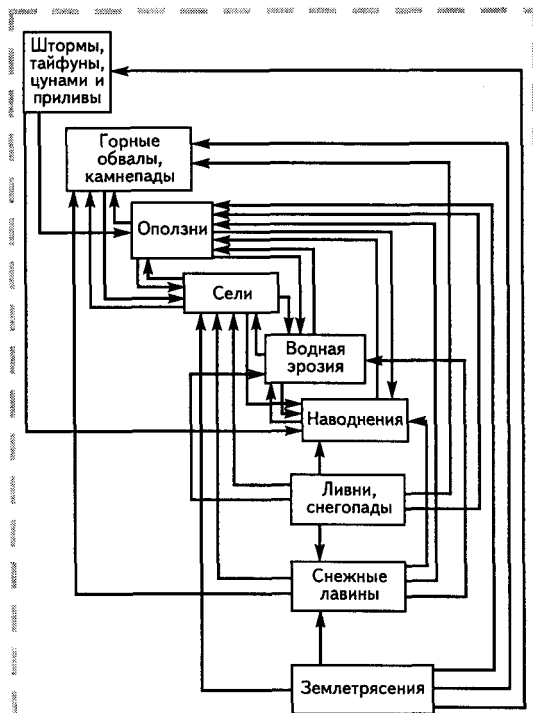


Рис. 21. Схема развития каскадного взаимодействия стихийных явлений
(по Г.Л.Коффу и др., 1997)

Многие процессы, кроме непосредственной опасности для жизни человека, имеют еще и косвенные, или опосредованные, последствия. К ним относятся вызванные нарушения тех или иных функций природного комплекса, приводящие к негативным изменениям параметров окружающей человека среды. Общеизвестно, что поражающими факторами землетрясений являются прежде всего механические воздействия колебаний земной поверхности. Однако следует отметить, что во время землетрясений движение земной поверхности само по себе очень редко вызывает человеческие жертвы. Известен единственный случай гибели человека, попавшего в трещину земли во время землетрясения 1948 г. в Японии, унесшего 5400 человеческих жизней. Главными причинами гибели людей являются косвенные факторы землетрясений: разрушения, затопления, осыпание битых стекол, падение разорванных электропроводов на проезжую часть улицы, взрывы и пожары, вызванные утечкой газа из поврежденных труб, а также неконтролируемые действия людей, вызванные испугом и паникой.

Другими примерами каскадного проявления процессов и косвенных опасностей могут служить:

осолонение воды, пыльные бури, эрозия почв при засухе;

выдувание верхнего плодородного слоя почвы при вихрях и ураганах;

загрязнение почвы при выбросе вулканического пепла такими элементами, как мышьяк, бор, тяжелые металлы, которые при возобновлении сельскохозяйственной деятельности могут попасть в организм человека вместе с продуктами питания;

залиение территории при наводнениях приводит к гибели посевов, а невозможность использования пашни после снижения уровня воды в ряде случаев грозит последующим голодом.

Кроме перечисленных факторов, влияющих на оценку количества человеческих жертв при появлении опасных и катастрофических процессов, необходимо учитывать и склонность их к парагенезу и синергизму. Редко на какой-либо терри-

тории развит только один геологический процесс, чаще всего на нее воздействуют их парагенетические комплексы, которые и образуют геодинамический фон той или иной территории и определяют вклад процессов в ее экологическую обстановку.

Сказанное говорит о том, что оценка воздействия природных, в том числе и геологических, процессов на экосистему и человека - задача сложная и требует индивидуального подхода не только к процессу, но и к территории. Это касается и выбора критериев такой оценки, и вопросов классифицирования этих процессов. Крайне сложно предложить пригодную для всех случаев единую классификацию опасных процессов без учета времени, места, интенсивности и площади проявления того или иного процесса. В зависимости от этих параметров один и тот же процесс (засуха, ветровая эрозия и некоторые другие) может попасть или в группу опасных, или в группу неблагоприятных. Это закономерно и должно учитываться при составлении эколого-геологических карт. В полной мере такой подход справедлив и для оценки экологического риска исследуемых территорий. Иными словами, каждый процесс в практическом отношении с экологических позиций должен оцениваться индивидуально по степени воздействия на человека и экосистему в целом.

Катастрофические процессы

Термин *катастрофический процесс* (*катастрофа*) происходит от греческого слова *katastrophe*, обозначающего переворот, гибель. Однако в специальной литературе толкование этого термина достаточно широкое и не очень строгое. Так, Г.С.Геворкян и Ж.Х.Калантарова (1999) относят к катастрофическим те процессы, которые отклоняют состояние природной среды от диапазона, оптимального для жизни человека как биологического вида и социума (имеется в виду технология производства). А.Г.Ананьев (1992) к катастрофическим процессам относит те, которые нарушают нормальное функционирование системы (экосистемы), в результате чего она разрушается и заменяется новой. В.М.Котляков с соавторами (1993) считает, что катастрофа происходит при достижении критического порога напряженности с быстрым и неуправляемым разрушением прежних структур системы. С рассматриваемых нами эколого-геологических позиций наиболее удачное определение катастрофы дано В.И.Даниловым-Данильяном (1999): "Катастрофа означает внезапное событие, быстротекущий процесс, влекущий тяжелые последствия, разрушения и жертвы. Это резкое изменение структуры системы (экосистемы), приводящее к разрушению какой-либо ее области. Причиной такого изменения может быть как внешнее воздействие на эту область системы, так и разрядка ее внутренних напряжений, превысивших прочность структуры". При этом отмечается, что природные катастрофы естественны и неизбежны как компонент эволюционного развития Земли.

Исходя из приведенных определений катастроф, к их числу следует относить процессы, представляющие непосредственную угрозу для жизни человека и характеризующиеся неопределенностью момента возникновения и интенсивного проявления. С этих позиций к катастрофическим процессам относят урага-

ны, наводнения, землетрясения, оползни, сели, лавины, обвалы, нагоны, провалы. Этот перечень следует дополнить космическими катастрофами, связанными с падением на Землю крупных метеоритов (типа Тунгусского), астероидов и комет, так как существуют представления о космических причинах экологических кризисов.

Атмосферные вихри. Они возникают из-за перепада давления, которое в определенных условиях обуславливает круговое движение воздушных потоков. По уменьшению кинетической энергии вихри можно расположить в ряд: циклоны, тайфуны, шквалы, смерчи (торнадо). Атмосферные вихри зарождаются вокруг мощных восходящих потоков теплого влажного воздуха и с большой скоростью вращаются по часовой стрелке в южном полушарии и против часовой - в северном. Циклоны и тайфуны зарождаются над океаном, шквалы и смерчи - чаще над континентами. Основные разрушительные факторы - сильные ветры, интенсивные осадки в виде ливней, снегопадов, града, нагонные наводнения. Ветры со скоростями 19-30 м/с (68-110 км/ч) образует бурю, 30-35 м/с (110-122 км/ч) - шторм, а более 35 м/с - ураган.

Циклон - гигантский атмосферный вихрь воронкообразной формы с убывающим давлением воздуха к центру. Тропические циклоны имеют среднюю ширину в несколько сот километров, скорость ветра внутри циклона часто превышает 250 км/ч, продолжительность циклона - от нескольких дней до нескольких недель, скорость перемещения - до 200 км/ч. Циклоны средних широт имеют большой диаметр - от тысячи до нескольких тысяч километров, скорость ветра обычно не превышает 40-70 км/ч, движутся они в северном и южном полушариях в основном с запада, отличаются меньшей повторяемостью. Внетропические северные циклоны сопровождаются катастрофическими снегопадами и градом.

По данным Берри, мощные тропические циклоны происходят, например, в Бангладеш 60 раз в 10 лет. Сохранились сведения о катастрофических циклонах в 1584, 1822 и 1876 гг., когда в Бенгалии погибло соответственно около 200, 73 и 200 тыс. человек. Катастрофический циклон весной 1991 г. характеризовался скоростью ветра 295 км/ч и вызвал формирование морских волн высотой 6 м. Число жертв по официальным данным составило около 125 тыс. человек, без крова остались до 10 млн жителей, неофициальные же людские потери оцениваются в 400 тыс. человек.

Связанные с циклонами ураганы, которые иногда называют тайфунами, занимают второе место после наводнения по числу создаваемых ими стихийных бедствий, а по числу жертв - первое место. В густонаселенных районах Азии число жертв во время ураганов измеряется сотнями и тысячами, в других районах - десятками и сотнями. Прямой ущерб от сильных ветров в США в начале 1980-х годов составил около 3 млрд дол. в год. Число потерпевших от урагана "Камилла", пронесшегося над США 17-20 августа 1969 г., составило 19 млн человек, количество жертв достигло 256 человек. Убытки составили 1421 млн дол., было разрушено и повреждено 16 805 домов, уничтожено и повреждено 126 судов, погибло 5000 голов скота. Колоссальные разрушения вызывают ливни, сопровождающие урага-

ны. Ураган "Флора" прошедший в октябре 1963 г. над островами Тобаго, Гаити и Куба, привел к гибели около 5 тыс. человек и 100 тысяч оставил без крова.

Шквальные бури и смерчи (торнадо) возникают в теплое время года на мощных атмосферных фронтах. Шквалы - это горизонтальные вихри со скоростью ветра (до 60-80 м/с), часто с мощными ливнями и грозами, продолжительностью от нескольких до 30 мин. Шквальные бури охватывают территории шириной до 50 км и проходят расстояние в 20-200 км. Разрушительное их воздействие определяется скоростью ветра. Шквальная буря в Воронежской области в июне 1990 г. повредила более 100 домов, 50 тыс. га посевов и нанесла прямой ущерб в сотни тысяч рублей.

Смерчи, называемые в Северной Америке торнадо, - мощные воронкообразные атмосферные образования, часто связанные с грозовыми облаками. Ширина воронки от нескольких метров до 2-3 км, высота — в среднем несколько сот метров. Полость характеризуется сильной разряженностью воздуха, скорость вращения в стенках смерча достигает иногда сверхзвуковой. Средняя скорость поступательного движения смерча 50-60 км/ч.

Разрушительная сила смерча связана с тем, что его воронка часто наполняется водой, пылью, грязью, различными обломками, вся эта масса под влиянием огромной скорости вращения уплотняется и приобретает большое боковое давление. На него накладываются вихревые и взрывные разрушения из-за перепада давления во внутренней полости смерча и в закрытых помещениях, которые накрывает смерч. В результате дома или просто рассыпаются, или буквально на глазах уносятся, или разлетаются с молниеносной быстротой. Так, смерч в Москве в 1904 г. привел к тому, что у больших крепких каменных домов были сорваны крыши, поломаны стропила, у домов похуже пострадали и верхние этажи; в нижних этажах ломались перегородки, двери, мебель. Деревянные здания были разрушены полностью и частично унесены. Ломались и переносились вековые деревья. В Сокольниках в парке смерч проделал просеку шириной 200-400 шагов, вырвав деревья; по воздуху носились бревна и целые крыши. Небольшие подмосковные деревни были полностью уничтожены, число жертв достигало нескольких десятков.

Особенно разрушительные смерчи (торнадо) наблюдаются в США. Ежегодно отмечается от 450 до 1500 торнадо, число жертв в среднем около 100 в год. За 35 лет с 1916 по 1950 г. в этой стране было отмечено 5204 смерча, в которых погибло 7951 человек, убытки составили 500 млн дол. В США 11 апреля 1905 г. в трех штатах возникло сразу 47 смерчей. Они произвели колоссальные разрушения и вызвали гибель 256 человек. Смерч 18 марта 1925 г. оставил на земле след длиной 352 км и шириной от 0,8 до 1,6 км при средней скорости 27,7 м/с, общая площадь разрушения составила 425 км², погибло 695 человек.

Большой ущерб при смерчах наносится градом; размер градин может достигать 30 мм и больше. При этом особенно страдают домашние животные, посевы, фруктовые сады. Очень опасны ливни, струи в котором сливаются в один мощный поток.

Атмосферные вихри относятся к быстродействующим катастрофическим процессам. Смерчи формируются за 20-30 мин., время существования смерча

10-30 минут, в США оно увеличивается до 7,5 ч. Смерчи могут развиваться на локальном и региональном уровнях, площадь разрушения от 1 до 400 км².

Пыльные и соляные бури. Они представляют собой своеобразную форму проявления атмосферных вихревых процессов и одновременно связаны с проявлением дефляционных процессов - выдуванием и переносом песчаных, пылеватых и соляных частиц. Пыльные бури часто возникают на периферии антициклона и переносят пыль на сотни и тысячи километров.

Наибольшее количество пыльных и соляных бурь наблюдается в Средней Азии, Южном и Западном Казахстане, на Мангышлаке, в Северном Прикаспии. В Средней Азии возникает до 800 пыльных бурь в год. Нередко мощный поток песка и пыли сплошной стеной несется со скоростью до 60 км/ч фронтом до 300-500 км. В апреле 1995 г. в районе Элисты за 35 ч соляной мглы на 1 га выпало около 25 кг сульфата натрия. В низовьях р.Чу с площади 800 км² ежегодно выносятся до 583 тыс. т солей сульфатов и хлоридо-сульфатов.

Вред, который приносят пыльно-соляные бури, выражается в заболевании крупного рогатого скота, в падеже овец, вредном влиянии на сельскохозяйственные культуры. По данным Д.В.Наливкина, в результате пыльной бури в ноябре 1930 г., продолжавшейся трое суток, только на Мангышлаке погибло 500 тыс. овец и коз, 40 тыс. лошадей и 30 тыс. верблюдов. Происходят аварии на линиях электропередачи в результате осадения солей на изоляторах.

Пыльные и соляные бури относятся к числу кратковременно (эпизодически) действующих дефляционных процессов, поскольку их продолжительность составляет от 2 ч до нескольких дней. Эти процессы могут проявляться как на локальном уровне, когда соль разносится с солончака и засоляет окружающие почвы, так и на региональном, когда экологические последствия особенно опасны. Сильные пылевые бури в Средней Азии и Южном Казахстане, взаимодействуя с пыльными бурями в Северном Прикаспии, единым фронтом устремляются на север и северо-запад и распространяются в виде мглы (состоящей из частиц пыли или глины и солей гипса, хлористого натрия, сульфата натрия, природной соды) над территорией Среднего и Верхнего Поволжья.

Наводнения. Они связаны чаще всего с интенсивными ливневыми дождями и обусловлены своеобразным режимом муссонных осадков. В Приамурье и в Приморье 60-70% годового количества осадков выпадает в июне, июле и августе. Их приносят южные циклоны. Это приводит к образованию двух пиков паводков - в мае и в июле-августе. После мощных ливней, особенно если на них накладывается активное снеготаяние, происходят катастрофические наводнения, затопляющие огромные территории. В северных районах этому способствует наличие сезонно- и многолетнемерзлых грунтов, слабоводопроницаемых, переводящих дождевые осадки в сток, что способствует высоким паводкам.

Наводнения особенно опасны для стран, расположенных на низменных равнинах с малыми абсолютными отметками, значительную часть которых составляют дельтовые земли, где большое влияние на развитие наводнений оказывают нагонные явления. Например, в Бангладеш в год выпадает 2169 мм осадков, из них

**Последствия некоторых крупнейших наводнений на Земном шаре
(по данным Жаклин Л.Бейкер)**

Дата	Место	Число жертв	Ущерб
Июнь 1972 г.	Восток США	свыше 100	2 млрд дол.
Июнь 1972 г.	Рapid-Сити, Южная Дакота, США	215	100 млн дол.
9 октября 1963 г.	Беллуно, Италия	Свыше 2000	Выход из строя гидроузла Вайонт
4 октября 1955 г.	Пакистан и Индия	1700	63 млн дол., затопление 5,6 млн акров посевных земель
1 августа 1954 г.	Область Казвин, Иран	Свыше 2000	Нет свед.
31 января–1 февраля 1953 г.	Северная Европа	Свыше 2000	Опустошены прибрежные районы
28 августа 1951 г.	Маньчжурия	Свыше 5000	Нет свед.
1911 г.	Река Янцзы, Китай	100 000	–"
1887 г.	Хэнань, Китай	Свыше 900 000	Разлив р.Желтой уничтожил многие населенные пункты
1642 г.	Китай	300 000	Нет свед.

85-95% приходится на летние месяцы, в результате расход воды в паводки по сравнению с меженью повышается в десятки и даже сотни раз. Морские приливы в устьях рек Ганга и Брахмапутры достигают 4-7 м высоты и как бы подпруживают речные воды, увеличивая площадь затопляемых земель. Катастрофическими паводками здесь считаются те, при которых местность затопляется на глубину более 2,5 м. В 1988 г. было затоплено 82 тыс. км², оказались разрушенными 7,2 млн жилищ и погибли 2379 человек, 172 млн голов домашнего скота. Тяжелые последствия связаны с резким возрастанием смертности от болезней и голода. После сильного наводнения 1974 г. голод унес жизни свыше 300 тыс. человек, а при разливе рек погибло немногим более 1 тыс. человек. **Налицо – катастрофические экологические последствия не самого наводнения, а обусловленных им сопутствующих процессов.**

В сельскохозяйственных районах наводнения сопровождаются эрозией земли, т.е. снижением ресурсного потенциала территории, гибелью посевов, разрушением ирригационных систем, дорог, гибелью скота, загрязнением местности. В этих случаях правомерно говорить не только об угрозе жизни людей, но и о глубоком нарушении экосистемы в целом.

В городах и населенных пунктах вода также наносит ущерб постройкам всех типов, транспорту, инженерным коммуникациям, речному хозяйству, оборудованию.

Согласно исследованиям специалистов, наибольшее число жертв от наводнений в мире (исключая СССР) за 20-летний период (с 1947 по 1967 г.) приходится

на Азию - 154 000 человек, затем Европу - 10 500 погибших. В Африке, Южной Америке и Карибском регионе зарегистрировано по 2000-3000 жертв. За это же время число погибших в Северной Америке составило 680 и в Австралии 60 человек. Представление о масштабах этого бедствия дает табл. 36.

Землетрясения. Это грозное явление представляет собой внезапное освобождение потенциальной энергии земных недр в виде упругих продольных и поперечных волн, которые распространяются во всех направлениях. Возникающие колебания и деформации земной коры часто приводят к катастрофическим подвижкам земной поверхности. Сила землетрясения зависит от количества выделившейся в области очага землетрясения энергии, характеризуемого магнитудой (условной энергетической характеристикой) и глубиной залегания очага. Интенсивность - качественный показатель последствий, характеризующий размер ущерба, количество жертв и восприятие людьми последствий землетрясений.

Большая часть крупных землетрясений приурочена к зонам альпийской складчатости, к которым относятся Средиземноморская и Трансгималайская зоны и Тихоокеанское кольцо горных сооружений.

Сила землетрясений достигает здесь 7-10 баллов. В сейсмически опасных районах проживает более половины населения Японии, в Китае - одна треть, в США - одна седьмая, в бывшем СССР - десятая часть населения, а в России - менее одной сотой части граждан.

Землетрясение - это бедствие с прямым и косвенным (вторичным) воздействием на природную среду в виде оползней, цунами, пожаров, снежных лавин и т.д. Оно вызывает огромное число жертв и большие материальные убытки. Исходя из общего числа жертв стихийных бедствий за период 1947-1967 гг., Сааринен отводит землетрясениям третье место среди опасных природных явлений. За эти 20 лет на Земном шаре в результате землетрясений погибло 56 100 человек, что составляет 12,7% от общего числа жертв стихийных бедствий. За этот период по числу жертв землетрясения уступают только наводнениям и ураганам. Всего же в XX в. в результате землетрясений погибло не менее 800 тыс. человек. Экологические последствия от землетрясения зависят от силы сейсмических волн, достигающих поверхности, частоты, типа и продолжительности сейсмических колебаний, от конструктивных особенностей здания, типа и состояния грунта основания. Общий ущерб от разрушения зданий в Каракасе при землетрясении в 1967 г. превысил 100 млн дол., при этом погибло 250 человек. Исключительно тяжелое по своим социально-экономическим последствиям было Спитакское (9-10 баллов) землетрясение 7 декабря 1988 г., когда число погибших превысило 25 тыс. человек, а убытки составили свыше 8 млрд руб.

Сильные землетрясения приводят к серьезным изменениям природной среды. Эколого-геологические последствия выражаются прежде всего в изменении топографии земной поверхности в результате изменения конфигурации водораздельных поверхностей и горных хребтов, образования новых прибрежных и подводных равнин, образования грабен и рвов, трещин со значительным растяжением.

При Гоби-Алтайском 12-балльным землетрясении в 1957 г. хребет Гурван-Сайхан высотой до 4000 м и протяженностью в 257 км был поднят и сдвинут к востоку. Образовались многочисленные разрывные нарушения, грабены шириной от 800 м до 3,5 км, тектонические рвы с глубиной до 19 м, водораздельный участок г. Битут протяженностью 3 км и шириной 1,1 км опустился на 328 м. В Монголо-Охотском регионе на северном склоне хребта Хамар-Дабан в результате землетрясения были сорваны и сброшены в долину островерхие пикообразные вершины гор. Соединившись вместе в виде усеченных конусов, они образовали плосковерхий водораздел. Землетрясение в штате Миссури в 1811 г. привело к тому, что на нескольких тысячах квадратных километров произошли большие изменения в положении поверхности земли. Огромные участки были подняты и опущены на 6 м, осушены болота, изменено направление р. Миссисипи, возникли новые озера. Следовательно, землетрясения местами приводят к коренному преобразованию рельефа и изменению ресурса геологического пространства.

Последствия землетрясений особенно катастрофичны, когда они приводят к активизации экзогенных сейсмогравитационных процессов, таких как обвалы, оползни, глыбовые и грунтовые лавины, сели и пр. Во время Сарезского землетрясения в 1911 г. на центральном Памире огромная масса обломочного материала объемом более 2 млрд м³ обрушилась с правого борта долины р. Бартанг, завалила ее, обусловив образование узкого и глубокого Сарезского озера. Под завалом был погребен кишлак с людьми, под водой нового озера оказался второй кишлак. Образовавшееся Сарезское озеро породило массу дополнительных экологических проблем, связанных с возможностью прорыва перемычки. При Хаитском землетрясении в 1949 г. на территории Таджикистана, где максимальное сотрясение достигало 9-10 баллов, в результате обвалов, схода лессовых оползней, грязекаменных лавин было завалено 33 поселка, разрушено полностью или частично - 150.

Землетрясения опасны тем, что они относятся к быстродействующим геологическим процессам. Продолжительность главного толчка, характеризующегося наибольшей **магнитудой**, редко достигает минуты, обычно это несколько секунд. Это бедствие застает людей врасплох и поэтому приводит к большим жертвам. По площади действия землетрясения могут быть различными в зависимости от **магнитуды** и глубины расположения очага. Землетрясение в 1811 г. в штате Миссури вызвало сотрясение двух третей территории США на площади 2,6 млн км² и ощущалось в Канаде. Но тяжелые экологические последствия были приурочены к эпицентральной зоне, а значительные - на площади в несколько тысяч квадратных километров. Поэтому землетрясение следует рассматривать как катастрофический процесс регионального уровня.

Извержения вулканов. Это одно из самых грозных и значительных явлений природы. Экологическое воздействие их многогранно. С деятельностью вулканов в истории Земли связывают вымирание отдельных видов животных и возникновение новых. За счет вулканической деятельности прошлых эпох около седьмой части поверхности России и сопредельных территорий покрыто лавами и туфами. Многие исследователи связывают эпохи оледенения четвертичного периода с вул-

каническими циклами. И даже вулканическую активность рассматривают как одну из причин перехода от человекообразной обезьяны к человеку. Извержения вулканов порождают стихийные бедствия для всего живого, разрушают целые города, преобразуют рельеф и речную сеть, воздействуют на почвенно-растительный покров и изменяют ландшафт в целом, а следовательно и ресурс геологического пространства.

Проявление современного вулканизма приурочено к областям альпийской складчатости. Почти 80% действующих вулканов связаны с зоной, которая прослеживается по Тихоокеанскому побережью Северной и Южной Америки, Алеутским островам, Камчатке, Японским островам, Индонезийскому архипелагу, Новой Зеландии. Остальные вулканы приурочены к бассейну Средиземного моря.

К факторам вулканической деятельности, обладающим разрушительной силой, относят взрывную волну, лавовые потоки, тефру и вулканические аэрозоли, пирокластические потоки, палящие тучи (волны), пепловые тучи. В зависимости от форм извержения преобладают те или иные факторы. Виды воздействия, которые они оказывают, подразделяют на пять групп: механические, термические, химические, электромагнитные и психологические. По характеру они могут быть необратимо катастрофическими, угнетающими или стимулирующими. Особенно значительными оказываются механические и термические воздействия. Сила воздействия указанных факторов зависит от типа извержения, количества вулканогенного материала, его размерности и температуры; все эти величины уменьшаются по мере удаления от вулкана.

М.М.Певзнер (1994) на примере катастрофического извержения вулкана Шивелуч составил схему потенциальной опасности и выделил три области с разными факторами воздействия. Эта схема имеет принципиальное значение и может быть применима для любого вулкана. Меняться будут размеры областей и преобладание действия тех или иных факторов.

Первая область расположена вблизи конуса вулкана (в радиусе до 20 км) и характеризуется необратимыми изменениями в результате механического, термического и химического воздействий и сводится к полному уничтожению и погребению многих компонентов природной среды, хозяйственных построек, коммуникаций. Взрывная волна полностью уничтожает лес, сметает со склонов мелкую растительность, погибает все живое. Лавовые или пирокластические потоки, температура которых достигает 800°C, связанные с ними палящие тучи, горящие пеплопады с температурой до 500°C вызывают пожары, полностью сжигают растительность, вызывают гибель людей и животных. Пирокластические потоки засыпают речные долины, нивелируют прежний рельеф, образуя новый с новой речной сетью.

Вторая область охватывает подножье вулканов и нижние части склонов в радиусе до 30 км и характеризуется частичным уничтожением людей и биоты под действием таких факторов, как тефра, палящие тучи, сильные пеплопады. На территории с мощностью тефры более 80 см вследствие механического погребения, термического и химического воздействий полностью уничтожается вся растительность, включая древесную. На участках с мощностью тефры 3-30 см происходит

выборочное уничтожение отдельных видов и угнетение в различной степени других видов и ассоциаций. В зоне сильных пеплопадов животные гибнут из-за возникшей бескормицы, от отравления корма, от жажды, из-за повреждения пищевода угловатыми частичками пепла, из-за ожогов. Сильные пеплопады приводят и к человеческим жертвам. В 1994 г. город Рабаул и его бухта, расположенные на одном из островов Новой Гвинеи, были погребены под вулканическим пеплом, выброшенным в результате извержения вулкана Матури. Извержение этого же вулкана в 1937 г. привело к гибели 500 человек, а все население (5000 жителей) было эвакуировано. Во второй области восстановление природных систем возможно как и в прежнем, так и в измененном виде. Для восстановления примитивной вулканической почвы и лесной растительности необходимо около 150-200 и даже 250 лет.

В третьей, краевой, области влияют на окружающую среду в основном пеплы, оказывающие модифицирующее воздействие на природные компоненты. Радиус этой области - несколько тысяч километров. Здесь преобладает химическое воздействие, механическое будет дополнять его вблизи внутренней границы области, где мощность пеплов достигает еще 10-15 см. Пеплы, как правило, изменяют условия жизнедеятельности человека, ухудшая их. Попадая с осадками в водоемы, они существенно изменяют химизм воды, что вызывает качественные и количественные изменения в видовом составе животных и растений. В реках и озерах наблюдается гибель рыб и икры. При Большом Толбачикском извержении в 1975 г. пепловая туча распласталась над Камчаткой и за ее пределами на площади 1000 км², засыпала растительность и олени пастбища, над полуостровом шли шлаковые ливни. Воды рек и озер приобрели высокую кислотность и становились непригодными для питья. Животные погибали от бескормицы и жажды.

По подсчетам Е.К.Мархина, вулканы в среднем за год выбрасывают примерно 2 млрд т вулканического пепла. Из-за этого уменьшаются прозрачность воздуха, солнечная радиация, увеличивается облачность и количество осадков, происходит значительное загрязнение атмосферы многокомпонентной газовой смесью, включающей углекислый газ, галоиды, сернистый газ, сероводород, аммиак и такие элементы, как мышьяк, бор, тяжелые металлы. По подсчетам Б.И.Пийна, во время извержения Ключевского вулкана в 1945 г. за 10 ч было выброшено 27 млн м³ газа. Загрязняют атмосферу и фумарольные газы. Все эти газовые выбросы в атмосферу нарушают тепловой режим поверхности земли, что имеет определенные планетарные экологические последствия. Повышенное содержание в воздухе вредных веществ оказывает негативное влияние на здоровье людей.

Серьезные последствия могут принести побочные процессы, не связанные напрямую с вулканической деятельностью: обвалы, обломочные лавины, лахары. Горячая пирокластика, осаждающаяся на ледниках и снежниках, вызывает их бурное таяние и образование горячих и холодных лахаров. Эти грязевые потоки, перемещаясь со скоростью 20-50 км/ч, увлекают за собой огромные глыбы и уничтожают все на своем пути. Извержение вулкана Рулс в Колумбии в 1985 г. и последовавший за ним сель погубили 24 тыс. жителей в городе, расположенном на его склоне. Гибель

людей, их заболевания связаны не только с механическими воздействиями лахаров, палящих туч, тefры, пепла, но и с химическими ожогами легких и с повреждениями слизистой оболочки. За последние 500 лет вследствие извержений погибло около 200 тыс. человек и причинен большой материальный ущерб.

По оценкам А.Стенченко, в вулканической деятельности имеются и некоторые благоприятные стороны для жизнедеятельности человека. В частности, термальные воды характеризуются высокими бальнеологическими свойствами, дают тепло, которое можно использовать для сельскохозяйственных, бытовых и промышленных целей. Районы современного вулканизма отличаются необычайным гигантизмом в растительном мире, связанным с высокой гидрофильностью почв, их высокими питательными свойствами и благоприятным фильтрационным режимом. Некоторые виды трав растут с быстротой 10 см/сут, обильная кормовая база способствует повышению численности животных и их выживаемости, поэтому население вулканических областей растет и старается расселиться ближе к вулканам.

Извержения вулканов по времени действия могут быть быстрыми, импульсивными, продолжительностью до нескольких дней, а могут, эпизодически повторяясь, продолжаться в течение достаточно длительного времени. При этом характер воздействия на окружающую среду может быть близким, но экологические последствия, размер материального ущерба будут зависеть от того, на каком уровне они проявляются: региональном или локальном. При региональных масштабах воздействия особенно остро встают вопросы прогноза извержения и принятия действенных мер по предупреждению и спасению людей и материальных ценностей.

Снегопады. Сильные снегопады приводят к быстрому увеличению высоты снежного покрова и могут сопровождаться длительными переносами и перетолжением больших масс снега. Они характерны для России, севера США, Канады, Японии и ряда высокогорных районов.

Снегопады на равнинных территориях весьма условно можно отнести к катастрофическим процессам, так как случаи гибели людей единичны. Основные экологические последствия связаны с дискомфортом проживания, что особо остро ощущается в городах, где снегопады препятствуют работе транспорта, иногда из-за них приходится закрывать школы, промышленные предприятия. При больших объемах и плотности выпавшего снега возрастают нагрузки на крыши, что вызывает их обрушение, как это случилось в Вашингтоне (штат Колумбия) в 1922 г., когда провалилась крыша театра и было убито 96 человек. Во время этого снегопада за 32 ч выпало 710 мм осадков. Снежные бури приводят к задержкам на авиационных и железнодорожных линиях, а из-за разрушения линейных сооружений может прерываться поступление электроэнергии, нарушается телефонная связь.

В горах длительные и обильные снегопады приводят к массовому сходу крупных разрушительных лавин, которые часто вызывают гибель людей, растительности и животных. Последующее бурное таяние снега приводит к наводнениям. В Японии за 24 года (1946-1970 гг.) было два катастрофических снегопада, которые привели к гибели 242 человек, к разрушению 1744 домов и затоплению 1962 домов. В таком контексте снегопад выступает как причина, а негативные эко-

логические последствия связаны с последующими сопутствующими процессами. Но снегопады можно рассматривать и как благоприятное событие, если они ведут только к накоплению воды в виде снега, необходимой для сельского хозяйства.

Снегопады по продолжительности относятся к быстродействующим процессам, длящимся максимум несколько дней; по площади развития они являются региональными, экологические последствия их действия охватывают территории, равные городу, району, области.

Цунами. Они представляют собой длиннопериодные морские гравитационные волны, обладающие большой разрушительной силой, возникновение которых чаще всего связано с сильными подводными или прибрежными землетрясениями. Но могут быть и другие причины возникновения цунами, такие как подводные вулканические извержения, крупномасштабные подводные или береговые оползни и обвалы, сброс в океан больших масс пород или льда, подводные взрывы ядерных зарядов, падение в океан гигантских метеоритов.

Мгновенные деформации участка дна океана вызывают быстрое смещение столба воды над ними, возникновение колебательных движений, образование волн цунами. Первоначально они имеют небольшую (до 5 м) высоту и значительную скорость (50–100 км/ч). В мелководной прибрежной зоне скорость уменьшается, резко возрастает высота волны (до 10 м и более), крутизна переднего фронта, волна опрокидывается, производя колоссальные разрушения на берегу.

Около 75% цунами приходится на Тихоокеанское побережье, которое на протяжении многих веков подвергается опустошительным ударам волн цунами. По данным японского исследователя Имамуре, в Тихом океане с 1596 по 1938 г. произошло 15 только катастрофических цунами. С районом Средиземного моря связано 12% случаев цунами, с Атлантическим океаном – 9%, с Индийским океаном – 3%. В нашей стране от цунами страдают побережья Сахалина, Камчатки, Курильских и Командорских островов. Здесь из 14 случаев зарегистрированных цунами за последние 200 лет четыре имели катастрофический характер. Последнее сильнейшее цунами наблюдалось 5 ноября 1952 г., охватившее 700-километровую зону Дальневосточного побережья. Волны высотой до 10 м принесли сильнейшие разрушения г.Северо-Курильску.

Разрушительная сила цунами зависит от интенсивности породившей ее причины, расстояния места зарождения от берега, изначальной высоты волны, особенностей рельефа дна на пути цунами и очертаний береговой линии. Особенно она велика в условиях сужающихся бухт и проливов, при уменьшении их глубины, когда существенно возрастает высота волны. Опасны также устья рек, по которым цунами продвигается на несколько километров в глубь территории.

Известно около 1000 случаев возникновения цунами (свыше 100 имели катастрофические последствия), которые выразились в полном разрушении и смыве инженерных сооружений и растительного покрова на побережье. Землетрясение с эпицентром юго-западнее Лиссабона в ноябре 1755 г. вызвало цунами с высотой волны до 30 м, которая разрушила и почти смыла Лиссабон. Из 20 тыс. строений было уничтожено 15 тыс., погибли около 50 тыс. человек.

В 1983 г. при сильном извержении вулкана обрушилась в море часть острова Кракатау площадью 21 км². Образовавшаяся при этом гигантская волна цунами, высотой до 35 м, смыла три десятка городов на Яве и Суматре и унесла жизнь 36 тыс. человек.

В масштабе всей Земли интервал повторения наиболее крупных цунами, по данным Д.В.Эйджера, составляет в среднем 10 лет, хотя для отдельных участков побережья Мирового океана он возрастает до 100 лет. Большая опасность цунами обусловлена тем, что это процесс быстродействующий, носящий катастрофический характер, негативные последствия его действия распространяются на целые регионы. Опасность цунами и возможные экологические последствия особенно возрастают в связи с активным освоением шельфа Мирового океана, поэтому важнейшей проблемой является не только краткосрочный прогноз цунами, который уже дает положительные результаты, но и долгосрочный.

Оползни. Оползнями называются смещенные на склонах горные породы разного состава, сложения и объема с преобладанием механизма скольжения по имеющейся или деформирующейся в процессе движения поверхности или зоне, когда сдвигающие усилия больше прочности пород. Эколого-геологические последствия оползневых процессов связаны или с погребением под грунтовой массой людей, животных, инженерных сооружений, или нарушением ландшафта и деформацией сооружений. В ряде традиционно оползневых районов (Молдова, побережье Черного моря и др.) оползни существенно снижают качество геологического пространства или сокращают его ресурс.

Оползни широко развиты на берегах рек, морей и озер в платформенных областях (в том числе на Русской плите), где при субгоризонтальном залегании пород имеются выдержанные горизонты глинистых отложений, обуславливающие образование оползней выдавливания (детрузивных), которые отличаются большими объемами, блоковым строением и быстрыми подвижками. Повсеместно в горно-складчатых областях (Кордильеры, Гималаи, Альпы, Кавказ, Забайкалье и т.д.) широко развиты оползни скольжения (консеквентные) блокового строения, смещение которых происходит по контакту слоев или по каким-либо ослабленным зонам, часто с большой скоростью. Встречаются они и на платформах. Большое распространение получили вязкопластичные (деляпсивные) оползни водонасыщенных обломочно-глинистых масс, включающие оползни-потоки (южный берег Крыма), оползни вязкого разжижения лессовых пород (горные и предгорные районы Средней Азии) и малолитифицированных глин (побережье Норвегии, Кавказа).

Масштабность развития оползней и эколого-геологические последствия их воздействия на окружающую среду определяются объемом перемещаемых грунтовых масс и скоростью смещения. Она особенно возрастает в условиях высокой энергии рельефа, крутых и высоких склонов, в первую очередь там, где они субпараллельны крупным разломам. В.С.Федоренко для Таджикистана отмечает, что при высоте склонов от 1000 м и больше и крутизне более 30°, объемы оползней и оползней-обвалов достигают десятков и первых сотен миллионов кубических метров, при меньшей высоте - не превышают 20 млн м³. Крупнейшие оползни, ча-

сто с катастрофическими последствиями, возникают в тех случаях, когда мощная толща прочных пород залегает на слаболитифицированных или плавунных породах, в которых возникают явления ползучести, выдавливания и выплывания.

На побережье морей оползневые процессы активизируются в связи со штормами. Многие грандиозные оползни спровоцированы землетрясениями. Резкой активизации оползней способствует обильное увлажнение пород, особенно рыхлых глинистых и лессовых, в результате затяжных дождей, ливней, снеготаяния, интенсивных поливов. При этом образуются мощные оползни-потоки с большой скоростью смещения, часто приводящие к катастрофическим последствиям. В 1994 г. на юге Киргизии в Ош-Джалал - Абадских областях после обильных снегопадов (превысивших 2-3 годовые нормы) сошли в лессовых породах оползни-потоки объемом от 500 м^3 до $1,5 \text{ млн м}^3$, в результате чего погибло 115 человек. Определенную подготовительную работу совершили сильные землетрясения, которые были в этом районе в 1992-1993 гг.

Прежде всего оползни представляют значительную угрозу для жизни человека в районах с большой плотностью населения. В Канаде в 1903 г. оползень в провинции Альберто обрушился на пос. Франк и привел к гибели 70 человек. В 1920 г. в провинции Ганьсу (Китай) крупные оползни, возникшие в результате землетрясения, вызвали разрушение нескольких десятков деревень и гибель около 100 тыс. жителей. В 1974 г. во время крупного оползня объемом $1,6 \text{ км}^3$ в Перу в Андах погибло около 450 человек. В Памире на территории Таджикистана в 1911 г. во время сильного землетрясения произошел большой оползень-обвал объемом $2,2 \text{ км}^3$ с высокой скоростью смещения. Благодаря малой плотности населения, такой катастрофический по масштабам развития оползень привел к относительно небольшому количеству жертв. Наибольшее количество погибших было в с.Усой, погребенном вместе с жителями (54 человека).

Оползни не только угрожают всему живому, приводят к гибели людей и домашнего скота, но и вызывают дискомфорт в проживании, что связано с деформациями и разрушением жилых домов, коммуникаций, с нарушением структуры сельскохозяйственных земель и лесных массивов.

Оползни могут быть отнесены к катастрофическим процессам, поскольку в случае короткого этапа подготовки смещения, они образуются внезапно, с большой скоростью смещения (до 1 м/мин) и представляют прямую угрозу жизни человека. Хотя при длительном периоде подготовки смещения, когда развитие процесса оползания идет медленно и неравномерно, оно обычно не является неожиданным и не представляет непосредственной опасности для человека, но и в этом случае может привести к нарушению природной среды и к значительному материальному ущербу.

Сели. Это временные горные русловые потоки, характеризующиеся высоким содержанием твердого материала (не менее $100\text{-}150 \text{ кг на } 1 \text{ м}^3$) и резким подъемом уровня. Отличаются внезапным возникновением и быстрым движением. Сели обладают высокими эродирующими и ударно-разрушительными свойствами, обус-

ловленными большой насыщенностью твердой фазой, значительной крутизной переднего фронта селя, лавинным характером движения.

Селевые процессы распространены во всех горных районах земного шара. В России сели развиты на Кольском п-ове, на Урале, на севере Сибири, в Саянах и Прибайкалье, на Камчатке, широко развиты в Закавказье и на Северном Кавказе, в горных и предгорных районах Средней Азии и восточного Казахстана. По данным Главного управления Гидрометеослужбы СССР, селевой опасности подвергается более 50 городов, в том числе Алма-Ата, Ереван, Фрунзе, Душанбе, Тбилиси.

Экологические последствия действия селя зависят от его мощности, которая определяется суммарным объемом вынесенного твердого материала. При объеме 20-100 тыс. м³ сель считается средней мощности, 100-900 тыс. м³ - значительной мощности и более 1 млн м³ - катастрофический. Масштабность развития селей возрастает при большом количестве рыхлообломочного материала на склонах; при увлажнении его за счет снежников или за счет прорыва озер или водоемов; при соответствующем строении русловой сети селевого бассейна, обеспечивающего концентрацию больших расходов; при отсутствии на склонах леса и травяного покрова.

Катастрофические сели и сели значительной мощности представляют серьезную угрозу для населения и часто приводят к человеческим жертвам. В Японии в июле 1938 г. сель на г. Кобе, вызванный ливнями, привел к гибели 460 человек и разрушил свыше 100 000 домов; в сентябре 1945 г. в г. Кура (Япония), расположенном в узкой долине, в результате мощнейшего селя, вызванного ливневыми дождями, при прохождении тайфуна "Макурадзаки" погибли 1154 человека. В 1970 г. в Перу под грязекаменной массой селя был погребен город Юнгей с 20 000 жителей.

Огромный вред сели наносят железным и автомобильным дорогам, пересекающим селевые бассейны, повреждают и разрушают опоры и пролетные строения. Вынесенный селом материал заваливает дорожное полотно, забивает входы в тоннели, отверстия мостов и труб, надолго выводя их из строя. Сели заносят ирригационные каналы, разрушают и повреждают горные электростанции и водозаборы, линии связи и газопроводы, альпинистские и туристические лагеря, т.е. приводят к дискомфорту проживания людей и большим материальным затратам.

Сели относятся к быстродействующим (катастрофическим) процессам, которые внезапно возникают и быстро проходят. Продолжительность селя от десятков минут до нескольких часов. Обычно сель проходит за 1-3 ч волнами по 10-30 мин. Действие конкретного селя достаточно локально, ограничено селевым бассейном, твердая составляющая разгружается в низовьях селевого русла, где уменьшаются уклоны и скорость потока.

Снежные лавины. Воздействие лавины на человека, биоту и хозяйственные объекты определяется ее потенциальной энергией, зависящей от высоты падения и объема снежной массы. Обрушение или сход лавин связан с уменьшением внутреннего сцепления в снежном покрове на горных склонах или сцепления с подстилающей поверхностью. Происходит это, прежде всего, вследствие быстрого прироста высоты снежного покрова до величины, превышающей критическую (разовое выпадение до 70 мм осадков), или за счет температурного или ветрового раз-

рыхления снега. Разница температур нижнего и верхнего слоев снега вызывает миграцию водяного пара в снежной толще, перекристаллизацию части снега и постепенное уменьшение плотности нижнего слоя в 2-3 раза и больше до достижения критической величины. Аналогичные процессы могут быть обусловлены перепадом влажности воздуха в толще снега и над ним (при сухих ветрах). Увеличение влажности снежного покрова от 0 до 20% при таянии или выпадении дождя уменьшает величину сцепления примерно в пять раз.

Разрушительная способность лавины связана с большим давлением, которое она оказывает на встречающиеся на пути препятствия. Величина его зависит от типа лавины, ее размера, скорости движения, плотности снега. Сухие лавины, в которых весь снег движется во взвешенном состоянии, на участках максимального разгона при средней скорости 30-70 м/с могут оказывать на перпендикулярное препятствие давление величиной 250 кПа. Если лавина захватывает каменные глыбы, то это давление может превысить 1 МПа. Перед быстрыми сухими лавинами из-за значительного сжатия воздуха образуется воздушная волна, давление которой может достигать 5 кПа. Если давление становится достаточным для поломки вершин деревьев и крупных веток (25 кПа), на склоне горы остается прочес. Лавина оказывает и вертикальное давление, которое может достигать половины от величины давления по направлению движения.

Разрушительные последствия от прохождения лавины характеризуются тем, что при давлении 10 кПа разрушаются деревянные и мелкие каменные постройки, 100 кПа - вырываются с корнями взрослые деревья, 1 МПа - повреждаются или разрушаются даже бетонные здания. Чем больше объем лавины, тем тяжелее могут быть последствия. Если лавина небольшая, объемом 10-100 м³, то она может сломать ветки деревьев, выдавить окна, может ранить, засыпать и убить человека, большая лавина объемом от 100 тыс. до 1 млн м³ валит лес, разрушает каменные сооружения и металлические конструкции. Лавинная опасность связана в большей степени с высокими склонами средней крутизны, с мощностью снега более 30 см, а в малоснежные зимы - со склонами СВ-С-СЗ экспозиции.

Сходы лавин, приводящие к гибели людей или к значительным экологическим последствиям, происходят в мире в среднем не реже одного раза в год, со средним интервалом в каждом горном районе не более 20 лет. Они могут быть следствием или недостаточной изученности факторов лавинной опасности, или осознанного принятия риска, когда стоимость противолавинных сооружений оказывается больше, чем потери от лавин. Особенно опасно внезапное пробуждение редко действующих лавинных очагов, где следы лавин на местности уже исчезли.

Причиной возникновения лавин часто являются экстремально длительные и обильные снегопады или разовое выпадение в сутки до 50 см снега в холодных районах и до 100 см в теплых. В районах с морским климатом, таких как Скандинавия, Камчатка, Сахалин, лавинные бедствия связаны с приходом глубоких циклонов.

Большая часть лавин негативно воздействует на природную среду; степень воздействия на людей и хозяйственные объекты зависит от освоенности территории. На таких хорошо освоенных территориях, как Швейцария с высокой плотно-

Данные о числе погибших при сходах лавин
(по А.Н. Божинскому, К.С. Лосеву и данным зарубежных исследователей)

Страна	Расчетный период, годы	Общее число погибших, чел.	Среднее число погибших за год, чел.
Швейцария	1940-1970	743	25
Австрия	1949-1970	751	36
Италия	1949-1970	206	10
Франция	1949-1970	207	10
ФРГ	1949-1970	55	3
Югославия	1949-1970	96	5
Норвегия	1836-1975	1600-1700	12
Великобритания	1969-1979	14*	1
Канада	1970-1975	30	6
США	1968-1973	80	16
Япония	1916-1973	1555	27

*Ранено 59 человек.

стью населения, из 10 000 лавиносбросов 3000 угрожают различным хозяйственным объектам (30%); в США из 10 000 лавиносбросов - 1 000 (10%) представляет угрозу; в Киргизии из 30 000 лавиносбросов конкретную угрозу представляет лишь 1000. Такая же зависимость наблюдается и по количеству жертв (табл. 37). Среднее число погибших от лавин за год в Швейцарии составило 25 человек (1940-1970 гг.), в Австрии - 36 (1949-1970 гг.), в Японии - 27 (1916-1937 гг.). По данным различных авторов, число жертв от лавин за каждое пятилетие возрастает примерно на 10%, а размер ущерба - на 5%. Быстрое освоение горных территорий, в том числе под зимние виды спорта, делают особенно острой проблему развития системы предупреждения и прогноза лавин, профилактического их сброса, строительства противолавинных сооружений.

Обвалы. Под обвалом понимается обрушение отдельных глыб, блоков и крупных объемов горных пород с крутых и отвесных склонов, преодолевающих свой путь до места падения по воздуху (это чаще всего вывалы) или путем скатывания по склону, опрокидывания и раскалывания (собственно обвалы). Обвалы образуются при потере устойчивости горных пород, преимущественно скальных и полускальных, под действием силы тяжести, гидростатического давления воды или различных сотрясаний. Подготавливаются обвалы часто длительным воздействием процессов выветривания. Эколого-геологические последствия обвалов связаны с ударной силой отдельных глыб и крупных блоков пород и с образованием завалов.

Обвалы распространены преимущественно в горных областях, прежде всего альпийской складчатости, таких как Крым, Кавказ, горы Средней Азии, Сибири, Дальнего Востока и т.п. Мелкие обвалы происходят и на равнинных территориях на крутых подмываемых берегах в речных долинах.

Вероятность возникновения особенно крупных обвалов возрастает на территориях с глубокорасчлененным рельефом, с увеличением высоты и крутизны склонов, с нарушенностью пород трещинами средней густоты, особенно наклоненными к основанию склонов или откосов. Созданию крупных и грандиозных обвалов способствуют сильные землетрясения. Разрушительная сила обрушившихся пород возрастает с увеличением высоты падения, поскольку от этого зависят скорость падения и сила удара.

Обвалы крупного масштаба могут привести к существенному изменению ландшафта. Так, в результате Гоби-Алтайского землетрясения 4 декабря 1957 г. силой в эпицентре 12 баллов с г.Хурень-онь по системе широтных трещин обрушилась масса горных пород объемом около 200 млн м³. Обвал срезал почти половину горы, образовав вертикальный обрыв высотой около 300 м.

На участках развития обвалов существует постоянная угроза для жизни и деятельности людей, для сохранности и нормального функционирования инженерных сооружений. Обвалы приносят большой материальный ущерб линейным сооружениям; прежде всего, представляют угрозу для эксплуатации автомобильных и железных дорог и для безопасности движения транспорта. Потери связаны с необходимостью расчистки завалов, восстановления дорожного полотна и разрушенных инженерных сооружений на дорогах, с перерывом движения транспорта. Вывалы даже из откосов, начиная с высоты 10-12 м, почти всегда вызывают повреждение и разрушение полотна дорог.

Обвалы на дорогах нередко сопровождаются человеческими жертвами. Катастрофические последствия бывают от обвалов, которые достигают дна долины и внедряются в озеро или другой большой водоем и становятся причиной образования гигантских волн.

Обвалы по времени образования относятся к быстродействующим катастрофическим процессам, всегда неожиданным, труднопредсказуемым, поэтому особенно опасным для человека. Каждый обвал в чистом виде происходит локально на конкретном участке склона и задача - избегать таких участков при хозяйственном использовании территории.

Специфической, гляциальной формой обвалов являются так называемые ледовые обвалы. Они связаны с ледниками и представляют собой единовременные обрушения значительных масс льда со склонов или уступов рельефа как непосредственно на леднике, так и по его фронту. Крупные ледниковые обвалы, как правило, приурочены к ледниковым районам со значительными амплитудами высот и обильной аккумуляцией снега, фирна и льда. Такие условия характерны для горных сооружений Памира, Гималаев, Каракорума, Анд Южной Америки. В России аналогичные районы тяготеют к главному Кавказскому хребту.

Ледовые обвалы могут иметь массовый характер и катастрофические последствия. В Перуанских Андах на г. Уаскаран (6768 м) в 1962 г. висячий край ледника шириной около 1 км и толщиной 30 м обрушился с 700-метровой высоты на лежащий ниже ледник, захватил часть его морены, и огромная масса льда, грязи, камней и воды в виде селя хлынула вниз по склону, сметая все на своем пути. Было полностью разрушено шесть селений и три - частично, погибло 4 тыс. человек и 10 тыс. домашних животных. В 1970 г. в результате землетрясения произошла еще более страшная катастрофа. Лавина горных пород и льда пронеслась со скоростью около 320 км/ч, обрушилась в долину, погребла под собой города Юнгей и Ранрайка и лишила жизни более 18 тыс. человек.

Сказанное - наглядная иллюстрация каскадности развития процессов и их синергизма в воздействии на биоту.

Нагоны. При приближении глубокого циклона, особенно урагана к берегу, происходит подъем морских вод выше среднего уровня океана, т.е. штормовой нагон. По сути это - нагонное наводнение, складывающееся из барического поднятия уровня моря (до 1 м, редко до 2,5 м), из длинных волн, обусловленных собственно нагоном (высотой до 8-12 м), и ветровых коротких волн. С.Н. Мягков приводит величины поднятия уровня воды над нормальным при нагонном наводнении для разных районов: на Охотском побережье они составляют 4-5 м, на Атлантическом побережье Северной Америки - 6-8 м, в Японии - 8-10 м, в Австралии - 12-13 м. В средних широтах высота нагонных наводнений не превышает 3-4 м. При наложении высокого лунного прилива уровень воды может подняться на 7 м и более. Гребни волн при нагоне могут достигать значительной высоты: в Голландии - до 10 м, в Японии - до 40-50 м. Передняя волна нагона высотой в несколько метров обладает значительной разрушительной силой.

Штормовые нагоны приводят к быстрому затоплению низких участков побережья и часто сопровождаются жертвами и большим материальным ущербом. Совместное действие ветра, волн и подводных течений вызывает размыв берега и уничтожение пляжей, сельскохозяйственных угодий, построек, поселков, гибнут растительность, посевы, домашний скот, может произойти загрязнение водозаборов. Сельскохозяйственные земли в процессе нагона могут засоляться и становиться непригодными для использования. После нагона при спаде воды может происходить проседание поверхности земли. Перечисленным комплексом воздействий и определяются экологические последствия штормовых нагонов.

Штормовые нагоны являются катастрофическими быстродействующими процессами. Максимальный уровень нагона продолжается до 20 мин, период высокой воды длится от 6 ч до нескольких дней в зависимости от условий стока. Пространственно штормовые нагоны имеют региональное распространение, охватывая территории побережий шириной 15-30 км, но могут иметь и локальное развитие в зависимости от характера движения шторма, конфигурации береговой линии и рельефа побережья.

Дейгиши. Эти процессы представляют собой обрушение в результате боковой эрозии берегов Амударьи и Сырдарьи, сложенных легкоразмываемыми лессо-

выми породами, приводящее к перемещению отдельных участков береговой линии на десятки и даже сотни метров за один паводок. Наибольшей силы разрушения достигают в местах, где нет низкой поймы, и водный поток прижат к берегу. Такой характер эрозионных процессов привел к перемещению русла р.Амударьи на 1-8 км за счет правого берега и повлек за собой уничтожение старого города Турткуля, в ряде мест - смыв культурных земель и разрушение головных сооружений магистральных каналов. В этом районе смывалось от 5 до 50 м берега в сутки. На протяжении 500-700 м за 5-8 мин отмечено до трех обвалов. Отдельные обваливающиеся блоки достигают размера 2х3 м. В результате дейиши за период с 1932 по 1954 г. уничтожено 50 км² берега Амударьи и в процессе последующей аккумуляции смытого берега образовано 14 км² низкой поймы, т.е. произошло изменение качества ресурса геологического пространства и его сокращение. В последнее время в связи с регулированием стока рек Амударьи и Сырдарьи этот процесс почти прекратился.

Провалы. Они связаны с обрушением кровли над карстовыми пещерами, суффозионными пустотами в лессах или над горными выработками. По характеру возникновения и последствиям провалы можно отнести к катастрофическим процессам, поскольку подготовительная и начальная стадии их развития малозаметны, а обрушение кровли происходит внезапно, главным образом, под действием гравитационных сил.

Подавляющая часть провалов пространственно связана с территориями развития закарстованных пород. Особенно широко распространены провальные явления в Пермской области, в Башкирии, в Прикаспии, в Донбассе, в ряде районов Восточной Сибири и Средней Азии. Размеры провалов обусловлены прежде всего величиной полости, глубиной ее залегания, составом и мощностью покровных отложений.

Карст в карбонатных породах не часто приводит к образованию провалов, но они могут достигать значительных размеров. В Средней Азии в пределах плато Устюрт карстовые провалы, связанные с выщелачиванием слабодислоцированных мергелей и известняков неогена, имеют характер колодцев диаметром 20-30 м, глубиной 20-40 м (иногда до 100 м). Провалы, связанные с меловым карстом, встречаются редко и обычно невелики по размеру. Провалы - очень частое явление в области развития сульфатного и соляного карста.

В районах развития гипсового карста провалы чаще всего характеризуются диаметром 10-12 м, глубиной несколько метров, в единичных случаях диаметр достигает 60 м, глубина - 30 м. К числу наиболее крупных относятся провалы, произошедшие в 1939 и в 1957 гг. Первый - Анташский провал в районе Альметьевска в Татарии глубиной 52 м, второй - вблизи д.Венец Горьковской области - диаметром 90 м и глубиной 25-27 м. На левобережье р.Белой (пос.Карламан) на площади 100 км² зарегистрировано 19 провалов диаметром до 20 м. Среднегодовое количество провалов в районах развития гипсового карста составляет от 0,1 до 1 на 1 км².

Еще более опасен этот процесс в районах развития соляного карста в связи с большой скоростью растворения солей. Для Илецкого соляного купола приво-

дятся данные об образовании ежегодно на площади 5 км² нескольких новых провалов шириной до 4 м и глубиной до 10 м и более.

Резкую активизацию провальных процессов вызывает строительство гражданских и промышленных сооружений, железных дорог, особенно разработка месторождений. Провалы представляют, прежде всего, непосредственную угрозу для инженерных сооружений. В Уфе, Дзержинске и других городах известны случаи серьезных деформаций, частичных разрушений крупных сооружений и даже провалов отдельных зданий. За 70 лет эксплуатации железной дороги в районе Уфы под путями произошли десятки больших и множество мелких провалов, вызвавших деформацию дорожного полотна.

В результате провалов часто теряются ценные сельскохозяйственные земли, затрудняются их распашка и эффективное использование сельскохозяйственных машин, известны даже случаи провала последних и гибель людей. Провалы в закарстованных районах изменяют ландшафтные условия. Частично поглощая дождевые воды и воды весеннего снеготаяния, провалы ограничивают поверхностный сток. При заполнении водой в провальных воронках образуются озера.

Аномальные газовыделения из субмаринных мерзлых толщ. Это своеобразное явление в арктической зоне, связанное с наличием мерзлых пород под дном морей, может осложнить все виды инженерных работ на шельфе и привести к чрезвычайным экологическим ситуациям. Все это обусловлено нахождением метана и других газов в форме газогидратов в песчаных линзах и прослоях, которые (газовые гидраты) при вскрытии быстро разлагаются на газ и воду, что сопровождается неожиданными выбросами газа со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями, вплоть до человеческих жертв. Исходя из этого, данный процесс и явление можно классифицировать как катастрофические, хотя для такой их реализации необходимо антропогенное воздействие (например, бурение скважин) для резкого снятия давления в песчаных линзах и создание условий для разложения газового гидрата.

Опасные процессы

Принципиально важным признаком выделения группы опасных процессов является положение о том, что они оказывают непосредственное воздействие (механическое, химическое и др.) на абиотическую составляющую экосистемы и только опосредованно, через ее изменение или разрушение, на флору, живые организмы и человека. Так опосредованное воздействие может приводить к необходимости отнесения крупных территорий к зоне экологического бедствия или катастрофы, обусловить многочисленные жертвы, включая человеческие, в результате голода, инфекционных заболеваний, разрушения или захоронения стационарных поселений. Опасные процессы приводят к бедствиям регионального, планетарного, редко локального масштабов. Именно с этой группой процессов связаны потери качества и самого ресурса геологического пространства в региональных масштабах.

Нередко такие процессы называют "ползучими катастрофами". Яркими представителями таких процессов являются засухи (чисто природное явление) и ветровая эрозия (чаще антропогенно-природное явление). Кроме названных, в составе опасных процессов и явлений следует рассматривать осолонение воды, заиливание территорий при наводнениях, овражную эрозию, плоскостную эрозию, термокарст и некоторые другие процессы.

Засухи. Характерны для пустынных, степных и лесостепных территорий и наступают в связи с недостаточным количеством или полным отсутствием осадков, что вызывает иссушение почв, понижение уровня подземных вод, значительное снижение уровня воды в водоемах иногда до полного их пересыхания. Засухе часто способствуют сильные сухие ветры (суховеи), при которых отмечается очень высокий дефицит влажности воздуха. Малый запас почвенной влаги приводит к тому, что начинает чахнуть и засыхать растительность, погибают посевы. Интенсивность засухи определяется величиной потери урожая: при потере до 20% — засуха незначительная, от 20 до 50 % - средней силы, свыше 50% - сильная. В лесостепной зоне засухи бывают 1-2 раза за 10 лет, в степной - 5-6 раз за 10 лет.

Особенно сильные засухи бывают в Африке, на Ближнем Востоке, в Центральной Азии. Постоянно подвергается угрозе засухи и голода Индия. Две сильнейшие засухи были в этой стране в 1965-1966 и в 1987 гг. В последнем случае, когда в сезон муссонных дождей выпало лишь 19% обычной нормы осадков, засухой было охвачено 63% всей территории. Было уничтожено 58,6 млн га зерновых, пострадало 285 млн человек. На преодоление последствий засухи правительством было выделено 14,7 млн рупий. В Африке жестокая засуха была в 1991-1992 гг., когда более 20 млн жителей десяти стран-членов сообщества Южной Африки находились на грани "серьезного риска". За период с января 1992 г. по март 1993 г. было зарегистрировано 100 тыс. случаев заболевания холерой, из которых 60 тыс. со смертельным исходом. Только совместная беспрецедентная международная и региональная акция помощи в виде доставки продовольствия и грузов помогла избежать человеческих жертв непосредственно от голода. В странах, где основу питания населения составляет пастбищное скотоводство, засухи приводят к тому, что животные заболевают, падает их продуктивность, наблюдается значительный (до 90% поголовья) падеж скота.

Засухи изменяют условия жизнедеятельности человека, оказывая неблагоприятное влияние на природную среду через сопутствующие процессы, такие как осолонение воды, пыльные бури, эрозия почв, пожары. Последние особенно опустошительны в тайге и в тропических лесах.

Засухи относятся к кратковременным (эпизодическим) процессам, которые длятся обычно в течение одного, редко нескольких сезонов. Действие засухи региональное, охватывает обычно территорию одной или ряда стран региона.

Опустынивание. Оно является негативным природным или антропогенным процессом, ведущим к уменьшению продуктивности земель и затем к полной ее потере. Процессы опустынивания выражаются в деградации растительного по-

крова, избыточном засолении почв, в развитии ветровой эрозии, ведущей к наступлению песков и засыпанию продуктивных земель и населенных пунктов.

Процессы опустынивания распространены на западе США, в Северной Африке, в Австралии, Азии. В странах Азии 135 млн га богарных земель подвержены опустыниванию, 29,3 млн человек, проживающих в этом районе, страдают от сильного и 26,2 млн человек - от умеренного опустынивания. Наиболее активно опустынивание наблюдается в тропических районах Южной Азии.

В нашей стране процессами опустынивания охвачена Калмыкия, Восточный Прикаспий, в ближнем зарубежье - 40% целинных земель Северного Казахстана (40 млн га), Прибалхашье, Южные Каракумы и Кызылкумы (до 1 млн га). По оценкам ученых, в Центральной Азии и Южном Казахстане опустыниванию подвержено около 60% всей территории, а из оставшихся 40% большая часть уже является типичной пустыней. Всего с этой проблемой столкнулись 130 государств земного шара.

Развитию процессов опустынивания способствуют сухость и континентальность климата, глобальная аридизация суши, большие площади распространения рыхлых слабосвязных отложений, развитие маломощных малогумусных легко-разрушаемых почв, повышенная засоленность подземных вод и почв, разреженная растительность.

Деграляция растительного покрова в аридных областях, ведущая к опустыниванию, выражается в смене растительности от луговых сообществ на полупустынные (полынь, соляники), ее угнетенности, разреженности. Причиной может быть прежде всего природное и антропогенно обусловленное засоление почв, вызванное капиллярным поднятием к поверхности и испарением грунтовых растворов в условиях жаркого сухого климата. Следствием этих процессов являются постепенное обеднение почвы гумусом и минеральными веществами, снижение продуктивности экосистемы, формирование больших площадей засоленных почв и солончаков и полное выведение земель из хозяйственного оборота. На этот тип опустынивания часто накладываются дефляционные процессы, резко ухудшающие экологическую обстановку.

Опустынивание путем ветровой эрозии связано с тем, что ветер при скорости более 4 м/с приводит в движение песчаные частицы. Перемещение песка происходит в виде ряби, барханов, дюн и барханных и дюнных цепей. Направление и скорость передвижения барханных цепей зависят от направления, скорости и продолжительности ветра. На скорость влияют также объем и механический состав песка, степень увлаженности, наличие растительности.

При поступательном типе передвижения пески занимают все новые площади, продвигаясь за год местами на несколько десятков метров. Площадь подвижных песков в пустынной зоне Средней Азии составляет примерно 5%. На южной окраине Кызылкума поступательное движение барханных цепей при высоте 4-5 м составляет около 12-15 м/год. В Западно-Туранской низменности, где площадь подвижных песков достигает более 26 тыс. га, они часто засыпают дороги, постройки, нефтяные промыслы и земли нового орошения. На территории Месопотамии

продвижение песков происходит со скоростью 30-40 м/год и угрожает орошаемым землям и ирригационным сооружениям. Главный коллектор за несколько последних лет занесен уже на 25-30%. По данным Организации Объединенных Наций, только в Северной Африке пустыня отнимает у людей примерно 100 тыс. га полезных земель. По американским данным, потери от наступления пустынь составляют ежегодно 10 млрд дол. (2-3 дол. на 1 человека всей планеты).

Активное развитие процессов опустынивания в разных видах приводит к росту голодающих и недоедающих людей. При этом половина земель полностью утрачивает продуктивность, и затраты на их восстановление не оправдываются экономически.

Такие природные типы опустынивания, как деградация растительности и избыточное засоление почв являются длительно действующими во времени процессами, хотя техногенное воздействие может существенно их убыстрять. В пространственном плане процесс опустынивания, судя по площади развития, является планетарным, и на него оказывает влияние начавшаяся лет десять назад в ряде районов планеты аридизация климата. Под влиянием техногенных воздействий этот процесс может проявляться и на региональном и локальном уровнях. Опустынивание путем ветровой эрозии, ведущей к наступлению песков, может проявляться в зависимости от ветрового режима как длительно действующий (особенно на окраинах внутриконтинентальных пустынь), так и кратковременный (эпизодический) процесс, а в пространственном плане он чаще всего региональный. Из сказанного следует, что с процессом опустынивания связаны интенсивное и региональное по площади снижение качества геологического пространства, а местами и резкое снижение этого ресурса.

Дефляция. Дефляционные процессы связаны с выдуванием песчаных, пылеватых и соляных частиц, их переносом и накоплением на смежных территориях. Дефляционные процессы могут реализоваться либо в виде пылевых и соляных бурь, которые относятся к группе катастрофических процессов, либо в виде долговременного ветрового разноса - ветровой эрозии, которую можно квалифицировать как опасный процесс. Первое проявление дефляции было рассмотрено в группе катастрофических процессов, а второе рассматривается в группе опасных процессов.

Ветровая эрозия заметно активизировалась в последние годы в связи с осушением соленосных днищ крупных бассейнов аридной зоны (Арал) и антропогенным воздействием в зоне полупустынь и степей (Калмыкия).

Развитие дефляции зависит от скорости и направления ветра, усиливается при засухе, высоких температурах, слабой вязкости почв, представленных тонкозернистыми песками, супесчаными и легкосуглинистыми отложениями, лессами, при незакрепленности почвы растительностью.

Все солончаки, особенно в верхнем слое, опасны как источники разноса соляной пыли ветром. Критическая скорость ветра, выносящая соли, равна 2,5-4,0 м/с. Глубина выдувания в зависимости от ветрового режима для районов Средней Азии изменяется от 0,7 до 6 см/год. Близкими цифрами характеризуется и возможность выдувания и разноса песчано-пылеватых частиц гумусового горизонта почв.

Особенно опасны последствия ветровой эрозии на территориях, где происходит наложение процессов опустынивания и техногенных воздействий. В частности областью экологического бедствия признано Южное Приаралье, где появление осушенного дна Арала площадью 26 тыс. км² с сильно засоленными рыхлыми грунтами привело к выносу в атмосферу ежегодно от 40 до 150 млн т солей и как следствие - к засолению и изменению почв вокруг Арала и резкому ухудшению условий жизни людей. Насыщенность воздуха пылью и солью привела к увеличению числа различных заболеваний: сердечно-сосудистых болезней - в 1,6 раза, туберкулеза - в 6 раз, желче-каменных болезней - в 5 и рака пищевода - в 7-10 раз. Общая смертность выросла в Каракалпакии за последние 10 лет в 15 раз. Произошел массовый отток населения из региона.

Не менее негативно проявление ветровой эрозии в пределах Калмыкии. Здесь в результате перевыпаса скота (овец) был деградирован и частично уничтожен растительный покров пастбищ, что привело к резкой активизации ветровой эрозии и глубокому эродированию гумусового горизонта. Ранее существовавшие ковыльные степи превратились в так называемые "черные земли" и зону экологического бедствия. Это наглядные примеры региональной потери ресурса геологического пространства для почти всех видов хозяйственной деятельности и снижения его качества на обширных прилегающих территориях.

Изменения уровня крупных водоемов. Этот процесс может быть кратковременным (приливно-отливные явления в море), сезонным и долговременным. С точки зрения воздействия на экосистему наибольшее значение имеют долговременные изменения, связанные с тектоническими, климатическими или антропогенными факторами.

Подъем уровня моря приводит к крупномасштабным экологическим последствиям, связанным с отступлением берега, с переводом части суши в акватории, что приводит местами к затоплению городов и населенных пунктов. Известно об исчезнувших под водой 28 городах на Йоркширском побережье Великобритании, которые видели римские легионеры, в Черном море из-под водной толщи видны древние постройки Цхума (Сухуми).

Подобные проблемы возникли в наше время в связи с подъемом уровня Каспия, начавшегося в 70-х годах XX столетия. Уже затоплены большие площади сельскохозяйственных земель, более 30 месторождений нефти и газа только в пределах Казахстана, а также сотни километров автодорог и железнодорожных путей. Создалась реальная угроза затопления гражданских и промышленных сооружений в прибрежной зоне, разрушения береговых защитных сооружений. Усиливается сгонно-нагонное воздействие морских волн, ведущее к нивелировке рельефа затопляемой территории.

Подъем уровня любого водоема приводит к подпору грунтовых вод, повышению их уровня, водонасыщению грунтов и к подтоплению территории, подтоплению оснований зданий и сооружений и соответственно их деформациям, к затоплению подвалов, подземных коммуникаций. Подтопление территории в аридных областях приводит к засолению грунтов. Подъем уровня морей вызывает усиление

абразии, активизацию оползневых процессов со всеми вытекающими отсюда последствиями для природной среды, ухудшению экологической ситуации в связи с загрязнением подземных вод.

Понижение уровня моря также чревато определенными экологическими последствиями. Так, понижение уровня Каспийского моря в 1930-1970 гг. привело к перемещению северного побережья на 100 км и сопровождалось уменьшением водных ресурсов в низовьях рек, активизацией их донной эрозии, понижением уровня грунтовых вод на всем побережье. В условиях аридного климата это приводит к активизации процессов опустынивания, существенно изменяющих условия жизнедеятельности биоты и человека.

Ярким примером негативных экологических последствий для природной среды от понижения уровня моря, вызванного геологическими, климатическими и антропогенными факторами, является район Аральского моря и залива Кара-Богаз-Гол. Понижение уровня Арала привело к осушению его соляного дна площадью более 26 тыс. км² и образованию солончаков; засоление вод в Арале привело к исчезновению рыбы. На всем побережье Арала резко ухудшились условия жизни населения. Изменились природные условия в дельтах рек, впадавших в Арал. Высохла большая часть озер, на месте плавней появилась сначала луговая растительность, а по мере дальнейшего понижения уровня грунтовых вод и засоления почв появилась полупустынная растительность.

Колебание уровня водоемов, изменяющее условия жизнедеятельности человека, относится к длительнодействующим процессам, охватывающим несколько десятков и более лет, а по площади воздействия — к региональным. Рассмотренный процесс с позиций оценки ресурса геологического пространства можно рассматривать и как разрушительный и как преобразующий, приводящий к смене одного качества ресурса другим.

Овражная эрозия. Наиболее широко она распространена в южной части лесной зоны, в лесостепной и степной зонах в пределах Среднерусской, Волыно-Подольской, Приволжской, Верхне-Камской, Приазовской и других возвышенностях, где плотность оврагов изменяется от 25 до 100 на 100 км² с превышением на отдельных участках этой величины. Скорость развития оврагов не превышает 1-2 м/год. Развитию овражной эрозии прежде всего способствует широкое распространение покровных отложений, представленных пылеватыми супесями и суглинками, реже песками. Большое значение имеет характер рельефа, благоприятна для роста оврагов сильная его расчлененность, большая площадь водосбора и значительная его высота относительно местных базисов эрозии. При крутизне склонов от 4 до 8° плоскостная и линейная эрозия проявляется интенсивно и повсеместно, особенно при слабой их задернованности. Очень важен режим снеготаяния, но наибольшую опасность представляют ливни, ведущие к образованию бурных потоков с большими скоростями. Способствуют образованию оврагов такие техногенные факторы, как распашка земель, вырубка леса, подрезка склонов, массовый выпас скота.

Овражная эрозия оказывает большое влияние на изменение окружающей среды. Расчленения территорию, овраги делают ее неудобной для хозяйственной деятельности, строительства и сельскохозяйственных работ. Они разрушают дороги и увеличивают их протяженность за счет объездов, ограничивают машинную обработку земли. Выносы рыхлого материала в результате эрозии создают определенные неудобства для хозяйственной деятельности населения, перекрывая луга, огороды, сады, перегораживая дороги, каналы, заиливая водохранилища и пруды. Овраги изменяют ландшафтные условия, вскрывают и дренируют водоносные горизонты и тем самым способствуют их истощению. В степях и лесостепях овраги нарушают влажностный режим зоны аэрации, иссушают почвы и снижают их плодородие. Увеличивая уклоны поверхности, овраги способствуют интенсивному смыву почвенного покрова с пашен, т.е. эрозии почв.

Однако наиболее значимым экологическим последствием проявления овражной эрозии является сокращение площади сельскохозяйственных угодий, особенно пашен и садов, и снижение плодородия почв в зоне нарушения их влажностного режима. Для некоторых районов развития черноземов опосредованное воздействие процесса линейной эрозии на человека выходит за рамки дискомфорта проживания и может квалифицироваться как кризисное и требующее безотлагательных масштабных природоохранных мероприятий. Овражная эрозия - типичный процесс, приводящий к локальной потере ресурса геологического пространства со всеми вытекающими отсюда экологическими последствиями.

Эрозия почв. Она происходит в результате плоскостного смыва и приводит к разрушению (смыву) верхнего самого плодородного гумусового горизонта почв. Наиболее широко эти процессы протекают в условиях степи и лесостепи в южно-таежной подзоне. Эрозионный потенциал территорий увеличивается с ростом крутизны и длины склонов, тесно связан с эрозионным индексом дождей. При ливневом стоке смыв может возрасти в 5-9 раз. На склонах крутизной 4-6° во время снеготаяния смывается до 25-60 т почвенного мелкозема с 1 га. Интенсивность плоскостного смыва зависит также от состава пород. Наименее устойчивы к нему покровные суглинки с большим содержанием крупной пыли, наиболее устойчивы пески. Промежуточное положение занимают моренные суглинки и супеси. Противозэрозионная устойчивость почв увеличивается с ростом содержания гумуса, прочности структурных связей, с уменьшением степени водопроницаемости. Она возрастает в ряду дерново-подзолистые почвы-серые лесные-черноземы. Для дерново-подзолистых почв, развитых на легких покровных суглинках, при уменьшении содержания гумуса в три раза коэффициент эродированности (и соответственно смыв почв) возрастает в полтора раза.

На территории Нечерноземья, где эрозионно-опасные земли имеют широкое распространение, пояса слабого (0,1 т/га в год) и умеренного (0,1-1,0 т/га в год) смыва занимают около 1/3 площади, пояс значительного смыва (модуль 1,0 т/га в год) - 2/3 территории. Нарастает степень эрозионной опасности с севера на юг, где широко развиты легкоразмываемые покровные отложения, высокий эрозионный индекс летних осадков, предельная земледельческая освоенность территории

при низкой почвозащитной роли посевов. Смыв с гектара пашни колеблется от 5 до 15 т/год и более. На Среднерусской, Приволжской возвышенностях потери почвы на пашне могут достигать 10 т/га и более.

Смыв почвы ведет к деградации гумусового горизонта, к уменьшению содержания в почве органического вещества, азота и других минеральных веществ, необходимых для питания растений. В результате ухудшается структура почв. Все это ведет к потере ценнейшего ресурса – плодородия почв с соответствующим воздействием на биоту и человека.

Эрозионные процессы по времени действия относятся к кратковременным эпизодическим, действующим в течение сезона. В пространстве эти процессы проявляются как на региональном (в пределах определенной почвенно-растительной зоны), так и на локальном (конкретный участок склона) уровнях. С масштабом развития эрозионных процессов связана и значимость последствий их влияния на природную среду, на изменение экологической ситуации. В зависимости от этого они могут относиться к опасным или неблагоприятным процессам.

Карстовый процесс. Он заключается в растворении и выщелачивании горных пород движущимися подземными водами с образованием своеобразных поверхностных форм рельефа и подземных полостей в виде пустот, каналов, галерей, пещер и др. Карстовые процессы часто сопровождаются провальными явлениями.

Карст широко распространен в районах, где развиты толщи растворимых карбонатных и сульфатных пород, а также каменных и калийных солей и прослеживается до глубин 300–400 м. В пределах Русской плиты он развит на южном склоне Балтийского щита, на периферии Московской синеклизы, в районе Жигулевского поднятия, Волго-Уральского свода; он также распространен в Карпатах, Крыму, на Кавказе, Урале. На Сибирской платформе карст приурочен к северному склону Алданского щита, к Тунгусской и Вилюйской синеклизам, к Ангара-Ленскому прогибу. Широко представлен в Казахстане и Средней Азии.

Скорость и масштаб развития карстовых процессов определяются прежде всего степенью растворимости пород, возрастая от карбонатных к сульфатным породам и затем к легкорастворимым солям, они увеличиваются с ростом агрессивности вод по отношению к карстующимся породам. Большое значение имеет дислоцированность пород и нарушенность их трещиноватостью, что делает породы более водопроницаемыми и облегчает вынос продуктов растворения движущимся водным потоком, увеличение скоростей которого повышает интенсивность водообмена. Активизация карстовых процессов связана с увеличением скоростей движения подземных вод, с условиями водообмена, что обусловило приуроченность карстовых процессов чаще всего к присклоновым частям долин и уменьшение закарстованности массивов пород с глубиной и в сторону водораздела.

Карстовые процессы по своим эколого-геологическим последствиям относятся к разряду опасных, но не катастрофических. Они могут существенно изменить ландшафт и тем самым условия жизнедеятельности биоты, в том числе человека. В тех районах, где растворимые породы залегают на поверхности или перекрыты небольшим чехлом рыхлых отложений, при высокой их закарстованности создается

ся своеобразный карстовый рельеф с формами в виде воронок, оврагов слепых балок, замкнутых котловин размером до десятков и сотен квадратных километров. Их появление оказывает влияние и на другие компоненты ландшафта, изменяются характер растительности, типы почв, гидрография. Слияние воронок приводит к образованию котловин, в которых формируются многочисленные связанные с карстом озера. Реки на закарстованных участках уменьшают свой расход и могут полностью исчезать в залегающих под руслом закарстованных породах. Например, в бассейне р.Белой, некоторые ее притоки остаются сухими большую часть года, так как вода инфильтруется в известняки.

При залегании растворимых пород на глубине среди нерастворимых образуется подземный карст в виде пустот, каналов, пещер и т.п. В результате изменяется структура и строение карстующихся пород, режим поверхностных и подземных вод, формируется особый тип подземных вод - карстовых, с которыми связано образование мощных, часто соленых хлоридно-сульфатных источников с дебитом, достигающим десятков кубических метров в секунду. Поэтому роль карстовых процессов в формировании химического состава вод, питающих реки, озера, очень велика. Существенно возрастает минерализация и жесткость речных вод за счет выноса карстовыми водами растворимых солей, меняется их температурный режим. Такие изменения особенно ощутимы в районах развития соляного карста. В качестве примера можно привести р.Сылву (район Кунгура), воды которой во время паводка поступают в закарстованную гипсовую толщу, а при оттоке минерализация их достигает 2,5 г/л.

Карстовые процессы приносят значительный косвенный материальный ущерб как на стадии проектирования, так и эксплуатации сооружений. Это связано с тем, что закарстованные породы не всегда являются надежным основанием и средой для размещения инженерных сооружений, могут быть деформации и провалы зданий, большие притоки воды в подземные выработки и котлованы, достигающие нескольких тысяч кубометров в час. Прорывы карстовых вод в шахты иногда приводят к человеческим жертвам.

В труднорастворимых карбонатных породах карстовые процессы развиваются медленно в течение длительного геологического времени, в среднерастворимых породах (сульфатный карст) скорость этих процессов достаточно большая и соизмерима по времени со сроками строительства и эксплуатации сооружений. В легкорастворимых породах (соляной карст) эти процессы развиваются еще быстрее. По площади развития карстовые процессы относятся к региональным, охватывающим большие площади в пределах территории развития растворимых пород.

Резюмируя сказанное можно утверждать, что карст во многом определяет качество и сам ресурс подземного и наземного геологического пространства на сложенных растворимыми породами территориях, а следовательно и их эколого-геологические условия.

Абразия. Это процесс разрушения морских берегов под действием волн, течений, приливов и отливов, который приводит к изменению очертаний береговой ли-

нии и к ее перемещению в сторону суши. Разрушительная сила ветровой волны зависит от ее высоты, т.е. массы воды и скорости, с которой волна ударяется в берег.

Абразионные процессы широко развиты на побережьях Балтийского, Средиземного, Азовского и других морей, на Крымском и Кавказском побережьях Черного моря, на оз.Байкал. Интенсивность абразии обуславливается в основном размером и режимом водоема, составом, строением и состоянием пород, слагающих побережье, морфологией берега. Высота волн, а значит и ее разрушительная сила, возрастает с увеличением силы и продолжительности ветра, длины разгона волны, обусловленной размером водоема, глубиной бассейна в прибрежной зоне. Процессы абразии резко активизируются во время шторма, что особенно наглядно проявляется на южном берегу Крыма. Очень неустойчивы к разрушению районы побережий, сложенные легкоразмываемыми рыхлыми несвязными или связными грунтами. Скальные породы теряют устойчивость к абразии при сильной трещиноватости и выветрелости или при падении их в сторону водоема. Темпы абразии возрастают при наличии процессов, снижающих прочность пород подмываемого берега, таких как старые и действующие оползни, осыпи, выходы подземных вод и т.п. В наибольшей степени подвержены абразии высокие берега, ориентированные перпендикулярно или под некоторым углом к направлению господствующих ветров, с узким пляжем. Для каждого района побережья характерны свои преобладающие факторы, вызывающие активизацию абразии. Вмешательство человека путем возведения портов, волноломов, дамб или бетонных стенок, а также изъятия для строительных целей из береговой зоны песка или галечника приводит к нарушению баланса рыхлого материала и активизации процессов абразии.

Как правило, абразия не представляет непосредственной угрозы для жизни человека, но изменяет ландшафт, оказывает влияние на условия его жизнедеятельности. Прежде всего абразия изменяет профиль берега, образуя крутой или относительно крутой береговой обрыв, в его основании - волноприбойную нишу и узкий пляж. В тех случаях, когда на уровне волноприбоя залегают слабые породы, формируется нависающий карниз. Берег становится неустойчивым, развиваются как **обвально-осыпные**, так и оползневые процессы, на склоне выше обрыва возникают трещины. В результате абразии изменяются очертания береговой линии и происходит ее перемещение в сторону суши.

Скорость отступления берегового уступа напрямую связана с составом пород. На Черноморском побережье в лессовых породах скорость отступления берегового уступа в среднем 2-7 м/год, иногда до 20 м/год, в аллювиально-морских слабосцементированных песках, глинах и суглинках - 2-5 м/год, иногда до 10 м/год; среднегодовой размыв оползневых накоплений - от 0,3 до 3 м/год, аргиллиты и алевролиты терригенного флиша абрадируются со скоростью от 5 до 30 см/год. Это ведет к прямым материальным потерям, связанным с переносом шоссейных и железных дорог на побережьях, с деформацией или полным разрушением жилых и промышленных объектов, портовых сооружений, построенных на берегах морей и озер. Такие разрушения могут приобрести и катастрофический характер.

Абразия является локальным фактором изменения качества ресурса геологического пространства особо значимого в курортных зонах побережья южных морей.

По времени развития абразия является процессом длительного действия. Например, для Южного берега Крыма скорость абразии изменяется от нескольких миллиметров в столетие до 3 м/год в зависимости от пород, слагающих клиф. Но эпизодически под влиянием сильных штормов скорость может резко возрастать. В пространственном плане абразия может носить региональный характер, охватывая районы побережья значительной протяженности. В то же время эти процессы могут проявляться и на локальных участках, где создаются для этого благоприятные условия.

Неблагоприятные процессы

Эти процессы включают обширную группу природных и техногенных геологических процессов, не представляющих непосредственной угрозы для жизни человека и животных и не приводящих к разрушению (но вызывающих изменения) абиотической составляющей экосистем. Они негативно воздействуют на условия жизнедеятельности человека через деформацию и осложнение эксплуатации инженерных сооружений. Это процессы длительного действия, с продолжительным периодом подготовки, как правило, с отдаленными и опосредованными экологическими последствиями как для человека, так и в какой-то степени абиотической составляющей экосистем. Они не приводят к кардинальному изменению ресурса геологического пространства, как это отмечалось для опасных процессов, но несомненно, оказывают локальное влияние на качество этого ресурса. Поэтому при оценке уровня экологического воздействия или состояния экосистемы они не могут квалифицироваться как зоны кризиса или бедствия, а будут соответствовать зонам нормы или риска. Неблагоприятные процессы достаточно условно (по возможной площади поражения) расположены в такой ряд: заболачивание, термокарст, боковая и донная эрозия, суффозия, пучение, наледообразование. Условность этого ряда связана с тем, что для каждого конкретного региона приоритетность процессов с точки зрения изменения условий жизнедеятельности, прежде всего человека, может быть совсем иная. Но имея в виду их воздействие на окружающую среду как среду обитания человека и биоты в целом, предлагается именно такая последовательность рассмотрения экологических последствий негативных природных процессов.

Своеобразной разновидностью абразионного процесса является **термоабразия** - разрушение морских берегов, сложенных мерзлыми, содержащими лед породами, под совместным воздействием механической и термической энергии морских или озерных вод. Средняя скорость отступания берега изменяется в широком диапазоне от 2 до 100 м/год. А при повышении уровня морей Лаптевых и Восточно-Сибирского эти величины достигают 350 м/год и несколько больше. Это огромные, катастрофические скорости. Даже при скоростях смещения береговой бровки 50-100 м/год построенные на значительном удалении от берега здания и сооруже-

ния (маяки, склады) через десяток лет попадают в зону опасности и требуют переноса. Это значительно усложняет решение целого ряда строительных задач, связанных с созданием, например, на побережье п-ова Ямал комплекса по хранению и транспортировке газа (морские порты, терминалы, трубопроводы и т.д.). Кроме того, с процессом термоабразии связано уничтожение небольших островов в Арктике, сложенных в подводной части сильнольдистыми породами.

Термоабразия - быстротекущий процесс, опосредованно влияющий на комфортность проживания населения и непосредственно воздействующий на ряд островных континентальных экосистем вплоть до их полного разрушения и создания аквальных условий.

Ледники. Они представляют собой естественную массу кристаллического льда и в меньшей степени - фирна со значительными размерами, расположенную главным образом на суше, находящуюся в движении и существующую длительное время. Материковые ледники подразделяются на горные, горно-покровные и покровные.

Для ледников нет однозначных оценок экологических последствий их развития и динамики. Наибольшую опасность представляют процессы динамической неустойчивости горных ледников, проявляющиеся в виде быстрых подвижек (пульсирующие ледники), которые создают угрозу для человека и объектов его жизнедеятельности, и ледовых обвалов. М.М.Корейшей выделяет три основных типа пульсирующих ледников России:

- горные ледники с выбросом льда в области убыли в долину (Кавказ, Памир);
- покровно-выводные ледники островов Арктики с выбросом льда в море и продуцированием айсбергов;

- ледники разных морфологических типов, пульсирующие за счет внешних воздействий, вулканической и сейсмической активности (Камчатка).

В качестве типичного примера первого типа пульсирующего ледника и связанных с ним экологических последствий может служить ледник Медвежий на Памире (хр.Академии наук, бассейн р.Абдукагор). Длина ледника 15,8 км, площадь 25,3 км², высота бассейна питания 4700-5500 м, скорость движения до 1 м/сут. В апреле 1963 г. скорость движения ледника резко возросла до 100 м/сут, в результате чего в 2 км ниже по трогу была перегороджена боковая долина р.Абдукагор с образованием подпрудного озера глубиной 80 м. При прорыве ледяной дамбы образовался сель с крупными ледяными и каменными глыбами с расходом потока до 1000 м³/с. В результате были снесены мосты и другие инженерные сооружения в долине [*Геоэкологическая опасность, 1999*].

Аналогичная картина произошла на северном склоне Казбекского горного массива в Северной Осетии (ледник Колка). Его быстрая подвижка в 1902г. привела к образованию ледово-каменного селя объемом 70-75 млн м³, вызвавшего большие человеческие жертвы и гибель тысяч голов скота.

Таким образом, можно говорить о том, что быстрые подвижки ледника - первопричина развития каскада катастрофических процессов, а, следовательно, гибели людей, животных и разрушения инженерных сооружений. С другой стороны,

горные ледники - природные аккумуляторы влаги и регуляторы речного стока, что чрезвычайно важно в экологическом отношении.

Второй тип ледников - покровно-выводные - приурочен к некоторым островам Арктики. Экологические последствия их пульсаций не изучались. Однако зафиксированное местами формирование айсберговых шлейфов несомненно осложняет судоходство, а иногда приводит к катастрофам, в том числе таким знаменитым, как гибель "Титаника".

Экологическая оценка вековых материковых оледенений, имеющих место сейчас в Антарктиде, Гренландии, некоторых крупных островах Арктики также двояка. С одной стороны, это крупнейший ресурс пресных вод в планетарном масштабе и регулятор уровня Мирового океана, с другой стороны, - основной фактор задержки влаги на материках и причина понижения уровня Мирового океана. Ими лимитирован ресурс геологического пространства такого крупного острова, как Гренландия и даже целого континента Антарктиды, так как материковые оледенения представляют собой ледовые щиты и покровы мощностью до 4 км, перекрывающие горные хребты, плато и равнины. По побережью океана с ними связаны протяженные зоны айсберговых шельфов.

Заболачивание. Этот процесс развивается в условиях влажного климата, когда количество выпадающих осадков превышает их испарение, равнинного рельефа или его пониженных элементов при близком к поверхности земли залегании подземных вод. Заболачивание может происходить и вследствие избыточного увлажнения отложений за счет периодического затапливания или подтапливания речными или морскими водами.

Развитие природно заболоченных земель и болот подчиняется климатической зональности. Они преобладают в тундре, в зоне лесов европейской части России составляют 40%, в лесостепной зоне - менее 10%. Заболочены большие пространства Мещерской, Молого-Шекснинской, Полесской, Причерноморской, Прикаспийской и других низменностей. Аналогичная картина наблюдается и в Сибири, где заболочена огромная территория Западно-Сибирской низменности. Заболочены поймы и приустьевые части в долинах крупных рек.

Процессы заболачивания существенно изменяют природную среду и условия жизнедеятельности человека. Происходит полная смена характера растительности, избыточное увлажнение ухудшает воздухообмен почвы и вредно отражается на растущей древесной, кустарниковой и травянистой растительности. Происходит постепенное угнетение и отмирание одних форм и развитие других, влаголюбивых травянистых растений (осока, камыш и др.) или угнетенной сосны и мхов. Заболачивание наносит ущерб лесному хозяйству, ухудшает водный режим почв и подпочвенных горизонтов сельскохозяйственных земель и препятствует получению высоких и устойчивых урожаев, другими словами, снижает качество природного ресурса.

Материальный ущерб от заболачивания связан и с дополнительными расходами на проведение осушительных мероприятий при подготовке территорий к строительству и защите уже построенных сооружений, поскольку избыточное увлажне-

ние меняет физико-механические и фильтрационные свойства пород, снижает их устойчивость и несущую способность, ведет к затоплению подземных частей сооружений, при этом подземные воды могут проявлять агрессивные свойства.

Процесс заболачивания относится к длительно действующим, что предоставляет человеку возможность прервать его, а еще лучше - предотвратить, чтобы избежать негативных экологических последствий. Заболачивание может происходить и локально в небольших западинах и понижениях и носить ярко выраженный региональный характер.

Термокарст. Этот геологический процесс заключается в вытаивании подземных льдов, приводящих к проседанию поверхности земли и появлению отрицательных форм рельефа, часто с образованием болот и озер. Особенно широко термокарст развит в области многолетнемерзлых пород в северных районах России на аккумулятивных равнинах аллювиального, озерно-эллювиального и морского генезиса, на поверхности речных террас.

Главное условие развития термокарста - наличие сильнольдистых многолетнемерзлых пород или мономинеральных залежей подземных льдов. Термокарст в крайне северных районах начинает развиваться в результате локального изменения природных условий при нарушении растительного покрова или сезонного скопления воды, ведущего к увеличению глубины сезонного протаивания. В южной части криолитозоны термокарст развивается в результате общей деградации мерзлоты. Степень пораженности термокарстом возрастает от древних поверхностей к более молодым, в районах развития синкриогенных сильнольдистых пород, а при прочих равных условиях интенсивность проявления термокарста возрастает с уменьшением уклона поверхности.

Термокарст оказывает большое влияние на природную среду, формируя своеобразный тип термокарстового ландшафта. Его характер определяется прежде всего морфологией ледяных скоплений. На севере Западно-Сибирской плиты по шлировому льду и льду-цементу образуются округлые или овальные понижения размером от 10 до 400 м, глубиной 3-5 м. В сильнольдистых породах с повторно-жильными льдами в результате термокарста возникают узкие канавообразные понижения глубиной до 1,5 м с образованием в плане полигонов. В расширениях в местах пересечения канавок появляются термокарстовые озера. Рельеф приобретает сетчатый рисунок с озерами и западинами. Заозеренность - характерный признак термокарстового рельефа, она меньше на севере Западно-Сибирской плиты (2,5-10%), в южных районах возрастает до 15% и более. Часто вытаивание крупных скоплений залежей пластового льда приводит к образованию огромных озер, глубина которых достигает 50 м, а поперечные размеры до 20 км. Часто встречаются котловины спущенных термокарстовых озер - "хасыреев", диаметр которых достигает 2 км и более.

Широкое развитие термокарстовых озер на фоне общей заболоченности территории создают специфические экологические условия развития растений, последние в свою очередь влияют на условия тепло- и влагообмена и, соответственно, на температурный и влажностный режим мерзлых и талых горных пород,

на глубины сезонного промерзания и оттаивания. На дне озер накапливаются характерные термокарстовые осадки, а под ними в результате их отепляющего влияния образуются сквозные и не сквозные **подозерные талики**.

Термокарст часто приводит к криогенной или посткриогенной инверсии рельефа, когда наиболее льдистые отложения или, наоборот, малольдистые, в зависимости от динамики развития термокарста и условий стока вод, оказываются как бы приподнятыми над местностью. Опосредованное воздействие термокарста на природную среду связано с провоцированием развития таких негативных процессов, как термоэрозия.

Развитие термокарста в зоне влияния инженерного сооружения может иметь для него катастрофические последствия. В целом масштаб развития термокарста по площади может иметь как региональный, так и локальный характер, а время проявления достаточно длительное.

Боковая и донная эрозия. Эти процессы в той или иной степени наблюдаются во всех долинах рек и оказывают влияние на природную среду опосредованно, через изменение ландшафта в пределах речных долин, и прямое воздействие – разрушением **пойменно-террасовых комплексов**. В зависимости от преобладания боковой или донной эрозии изменяется строение речных долин. Преобладание боковой эрозии приводит к меандрированию реки, появлению больших излучин, долина характеризуется широкими террасами, заливными лугами на пойме, старицами и озерами со значительной мощностью аллювиальных отложений. Преобладание донной эрозии приводит к узкому, каньонообразному характеру долины с крутыми склонами, с узкими останцами террас, с порогами и перекатами в русле, с водопадами, с небольшой мощностью аллювиальных отложений, обычно более грубого состава.

Разрушение берегов эрозионными процессами определяется составом и состоянием размываемых пород, экспозицией береговых склонов, конфигурацией русла реки и характером локальных (блоковых) неотектонических движений. Особенно интенсивно, иногда с высокой скоростью, разрушение берегов происходит в период половодий и паводков, когда скорость размыва местами достигает нескольких десятков метров за сезон.

В долине р.Оби поймы, сложенные тальми песками и супесями, разрушаются со скоростью до 33 м/год, при глинистом составе отложений скорость размыва уменьшается до 7-10, а на отдельных участках – до 3 м/год. Скорость размыва первой террасы составляет для песков 20-24 м/год, а для переслаивания песков и суглинков – 5-15 м/год. Склоны более древних террас размываются со скоростью от 0,5 м до нескольких метров в год.

На севере Русской равнины на некоторых участках крупных рек скорость размыва берегов достигает 10-40 м/год, в южной половине ее в долинах Волги, Днепра, Дона средние скорости размыва берегов составляют 12-20 м/год, на вогнутых малоустойчивых берегах – до 25 м/год.

Большая скорость размыва террасовых комплексов, территории которых активно используются человеком, мешает нормальной жизни и приводит к значительному материальному ущербу. В зону разрушений попадают трассы шоссей-

ных и железных дорог, линии связи и электропередач, газо- и нефтепроводы, промышленные сооружения и жилые дома, сельскохозяйственные угодья, сады и огороды.

Суффозия. Под суффозией понимается процесс механического выноса тонкодисперсной части пород из грунтовой толщи. Чаще всего эти процессы приурочены к тонко- и мелкозернистым пескам и особенно к лессам, обладающим низкой сопротивляемостью эрозионному воздействию подземных вод. Развитие суффозии связано с интенсивной инфильтрацией поверхностных вод или действием больших скоростей движения фильтрационного потока в условиях расчлененного рельефа, обычно вдоль террасовых уступов к реке, по бортам оврагов. Это приводит к образованию каналов, полостей и поверхностных провальных воронок.

Суффозионные процессы развиты в Поволжье, Красноярске, Средней Азии. В дельтах Амударьи и Сырдарьи поверхностные провальные воронки в лессовых породах имеют размеры от 0,3х1 м (глубина 0,1-0,15 м) до 4х6 м (глубина 2 м); размер пещер достигает 6х28 м (глубина 3 м). Иногда провальные воронки смыкаются и образуются "провальные овраги". Близко расположенные воронки соединяются горизонтальными ходами с образованием целых полей. Площадь таких полей на восточном побережье Сарыкамышского озера достигает десятков квадратных километров, а коэффициент пораженности изменяется от 0,18 до 0,60. В долинах рек Гульбиота и Иляк в лессовых породах среднечетвертичного возраста протяженность крупных пустот достигает 400 м. Глубина пораженности суффозионными процессами - до 30 м.

Суффозия изменяет водопроницаемость пород, поэтому может вызывать большие притоки воды в котлованы, подземные выработки, может привести к потерям воды из ирригационных сооружений и водохранилищ, создать критические ситуации, связанные с устойчивостью плотин в боковых примыканиях и в основании. Большой ущерб от суффозии может быть связан со значительными неравномерными осадками зданий и сооружений, их деформацией и даже разрушением при образовании подземных пустот.

Процессы суффозии развиваются медленно в течение нескольких или десятков лет. Они чаще имеют локальное, реже региональное развитие.

Пучение. Этот процесс обусловлен способностью воды или рыхлых влажных отложений увеличивать свой объем при промерзании. Сезонное пучение может развиваться везде, где происходит промерзание пород; многолетнее - приурочено к территории криолитозоны. Многолетний процесс пучения приводит к формированию специфических ландшафтов путем выпучивания каменного материала из элювиально-делювиальных отложений и образования "каменных россыпей", "каменных морей", а на пологих склонах - "каменных потоков" и т.д. Наложение на процесс выпучивания каменного материала морозобойного и диагенетического растрескивания приводит к образованию специфических структурных форм в виде "сортированных полигонов", где суглинистое ядро диаметром 0,5-0,8 м обложено бордюром из щебня шириной 0,2-0,4 м, "пятен-медальонов" и др.

Специфические мерзлотные формы микрорельефа формируются при многолетнем промерзании дисперсных отложений в виде бугров пучения. Вблизи южной границы области многолетнемерзлых пород европейского Севера России и Западной Сибири, а также в отдельных районах Средней и Восточной Сибири образуются миграционные бугры пучения, часто приуроченные к участкам развития торфяников. Они возникают в результате накопления сегрегационного льда вследствие миграции влаги под влиянием градиентов температуры и влажности обычно при новообразовании мерзлых толщ. Такие многолетние миграционные бугры пучения с поверхности сложены торфяниками, разбитыми трещинами или системой полигонально-жильных льдов, а в **ядре** - высокольдистыми (40-60%) породами пылеватого супесчаного или суглинистого состава. Высота бугров пучения до 3 м, иногда 4-8 м, а размеры в основании от трех до нескольких десятков и даже сотен метров.

В Центральной Якутии, на арктических Приморских низменностях Северо-Востока России и Северной Америки многолетние бугры пучения, так называемые "булгунихи", или "пинго", образуются путем передвижения воды под действием гидростатического давления, развивающегося в закрытых системах при их промерзании, чаще всего при промерзании таликов под термокарстовыми озерами. Ядро булгунихов состоит из инъекционного льда, с поверхности они обычно разбиты системой радиальных и концентрических трещин. Размер булгунихов зависит от количества воды в замкнутой системе, высота их может достигать 30-60 м, а размер в основании - до 200 м. Рост булгунихов продолжается в течение длительного периода времени - от нескольких десятков до нескольких сотен лет.

Еще одной разновидностью бугров пучения являются гидролакколиты, образующиеся в местах разгрузки различных напорных вод, но они относятся к недолгоживущим образованиям, которые периодически разрушаются и возникают вновь.

Образование сезонных бугров пучения происходит вследствие промерзания пород сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев. Особенно широко они развиты в центральной и южной частях зоны практически сплошного развития многолетнемерзлых пород, где температура пород не ниже $-6...-7^{\circ}\text{C}$. В буграх пучения отмечаются крупные линзы сегрегационного льда, размеры которых в диаметре изменяются от первых метров до 10-30 м в диаметре, мощность не превышает 1,5 м. Высота сезонных бугров пучения от 10 см до 1,2 м, а ширина - от 1 до 6 м. С сезонными буграми пучения связано формирование бугристого микрорельефа. На Ямале, на Рыданском п-ове развиты выпукло-вершинные мезоформы рельефа высотой до 2 м, диаметром первые метры, реже десятки метров, которые со всех сторон изолированы понижениями.

Процессы пучения изменяют условия жизнедеятельности растительности, животных и человека, создают угрозу для инженерных сооружений. Они приводят к выпиранию столбов из земли и нарушению линий связи, свай в основании фундаментов строений и соответственно их деформации. При этом следует учитывать, что особую опасность представляют не абсолютное значение деформаций пучения, а неравномерность пучения по площади. Значительный ущерб однолетние бугры пучения приносят дорогам, аэродромам. С многолетними буграми пучения

чения связано активное развитие термокарстовых процессов. По времени действия процессы пучения относятся в основном к кратковременным (эпизодическим), которые в пространстве имеют локальное развитие.

Наледеобразование. Наледями принято называть ледяные тела разной площади, мощности и формы, формирующиеся в результате многократного излияния и замерзания природных речных и подземных, иногда техногенных вод на поверхность. Излияние вод происходит под действием гидродинамического давления, которое возникает за счет сужения живого сечения потоков в результате зимнего промерзания водоносных пород или озер и подоцерных таликов.

Наледи характерны для районов с суровым, резкоконтинентальным климатом, с холодными малоснежными зимами, с большим количеством подземных вод, залегающих близко к поверхности. Особенно благоприятны горно-складчатые районы, где широко распространены грубообломочные породы, многочисленные источники трещинно-жильных, карстовых и других типов вод. Например, в **Верхоянско-Колымской** горно-складчатой стране насчитано около 10 тыс. наледей, общая площадь которых составляет около 10 тыс. км². Нередко наледи образуют ледяные массивы площадью до 100 км² и более. Так, Момская наледь сопоставима по размерам с ледником Федченко на Памире. В наледях **Евро-Азиатского** материка аккумулируется более 100 км³ воды, а их площадь составляет около 0,5% всей площади с многолетней мерзлотой. Чаще всего наледи распространены в долинах рек, многие из них приурочены к тектоническим разломам.

Наледи обладают большой разрушительной силой. Особенно большой вред они приносят автомобильным и железным дорогам. Слой льда перекрывает дорожное полотно и осложняет движение транспорта в течение всего зимнего периода. Различные инженерные сооружения, особенно мостовые переходы, попадающие в зону действия наледей, могут быть частично или полностью разрушены. Известны случаи разрушения наледями жилых домов за счет деградации под ними мерзлых пород и вскрытия напорных подземных вод.

Наряду с негативным воздействием наледей на растительность и инженерные сооружения и опосредованным влиянием на человека, необходимо отметить и их позитивную экологическую роль с ресурсных позиций. Наледи являются аккумуляторами больших объемов пресных вод и выполняют функцию регулирования поверхностного стока за счет постепенной сезонной (летней) сработки накопленных запасов воды и обеспечения определенного гидрологического режима рек и озер. Одновременно наледи являются важнейшей предпосылкой для положительного решения вопросов целевого водоснабжения. Как пишут В.А.Афанасенко и С.Н.Булдович, для животного мира наледь - это спасение от назойливого гнуса. Здесь всегда прохладно, а солевые выцветы за счет химического выветривания боковых пород - естественные солонцы для животных. Наледи - постоянные пути миграции оленьих стад.

С образованием наледей связано формирование своеобразных форм рельефа - "наледные поляны", которые, сливаясь вследствие многолетней миграции наледей, образуют "наледные долины". Сама наледь местами покрыта сетью трещин, огром-

ными воронками с провалами во льду, с ледяными карнизами и мостами в трещинных полях, каньонами во льду и системой мелких надледных озер и ручейков.

Наледи являются кратковременно действующими эпизодическими процессами. В Восточной Сибири их образование происходит с ноября по апрель, особенно интенсивно - в январе-феврале, в мае-июне они обычно тают. По площади действия их можно отнести к локальным процессам, поскольку протяженность отдельной наледи не превышает нескольких десятков километров.

Морозобойное растрескивание пород и формирование полигонально-жилых структур. Это один из наиболее распространенных геокриологических процессов в области развития многолетнемерзлых пород и глубокого сезонного промерзания грунтовых толщ. Криогенное трещинообразование обусловлено действием напряжения, которое возникает в массиве мерзлой породы вследствие его сжатия при охлаждении. Оно обычно сопровождается образованием полигонально-жилых структур четырех типов: изначально грунтовых жил, повторно-жилых льдов, первично-песчаных жил, псевдоморфоз по повторно-жилым льдам.

Влияние криогенного трещинообразования на состояние и устойчивость инженерных сооружений проявляется в растрескивании полотна городских улиц (трещины шириной 1-3 см и глубиной 40-50 см в зоне сезонного промерзания); растрескивании цоколей зданий, деформаций и разрывов подземных стальных трубопроводов в криолитозоне. В северном (низкотемпературном) типе растрескивания ширина ледяных жил достигает 3-4 м, а глубина 20-30 м и более. Кроме того, при определенных условиях процесс морозобойного растрескивания способствует развитию термоэрозии, термоденудационного разрушения и отступления береговых обрывов и стенок карьеров (до 7 м в год).

Криогенное трещинообразование можно отнести к кратковременным (циклическим) процессам, воздействующим на биоту и экосистему опосредованно через разрушение и деформацию инженерных сооружений или активизацию и развитие других опасных криогенных процессов.

Солифлюкция и сплывы. Эти процессы обусловлены вязкопластичным смещением оттаивающего тонкодисперсного материала вниз по склонам с отсутствием древесной растительности и избыточным переувлажнением пород сезоннооттаивающего слоя. Скорость смещения пород при солифлюкции покровного типа составляет порядка 2-10 см/год; на склонах крутизной до 15° солифлюкция, как правило, не приводит к образованию натечных форм рельефа.

Опасные проявления солифлюкции в виде сплывов связаны со смещением (течением) грунтов на территориях расположения трасс наземных магистральных трубопроводов, автомобильных и железных дорог, на бортах открытых горных выработок, участках расположения временных одноэтажных построек. Это быстро-текущий циклично проявляющийся процесс, опосредованно влияющий (через деформацию инженерных сооружений) на комфортность проживания человека.

6.3. Современные геодинамические зоны и аномалии литосферы и их экологическое значение*

Геодинамические зоны, аномалии и их особенности

В публикациях последних лет (Е.В.Стадник, Л.Г.Комогорова, Ю.К.Щукин, О.Л.Кузнецов, В.Л.Сывороткин и др.) под различными терминами - "деформационные зоны геосистем", "геодинамические зоны", "зоны динамической сопряженности неоднородностей геологической среды" - стали выделяться планетарные и региональные структуры земной коры, связанные с зонами глубинной трещиноватости, высокой проницаемости и напряженно-деформированного состояния вмещающей среды. Рассматривая эти зоны с экологических позиций, О.Л.Кузнецов (1994, 1995) отмечает, что все они тектонически ослаблены, подвижны, имеют признаки дробления, растяжения, что способствует миграции тепла и флюидов с глубины и перераспределению их в пластах пород. Здесь существуют геохимические, геофизические и эманационные поля и аномалии, параметры которых меняются во времени и пространстве, оказывая влияние не только на минеральную часть геосреды, но также на биологическую (развитие и состояние микроорганизмов, растений, животных, людей). Наибольшей контрастностью указанных признаков и показателей, характеризуются деформационные узлы - места пересечения деформационных зон разных геосистем, в том числе разноранговых. В качестве иллюстрации О.Л.Кузнецов с соавторами приводит Ишимскую планетарную геосистему (рис. 22), к деформационным зонам которой приурочены месторождения полезных ископаемых, а по данным В.Храпова (1992) - и эпидемии опасных болезней, периодически поражающих человечество. Понятно, что пока такие медико-ориентированные геологические разработки находятся на начальной стадии и не выходят за рамки оригинальных гипотез.

Несомненно созвучны приведенным публикациям и разработки В.Л.Сывороткина (1994-1998), в которых он связал мощные газовые потоки с геоструктурными зонами Земли, со спрединговым режимом развития и привел целый спектр их воздействия на экосистему и человека как биологического вида. Не вдаваясь в детали проблемы, отметим главное - поистине планетарное экологическое воздействие на биоту таких геоструктурных зон.

Изложенный материал позволяет констатировать, что в литосфере существуют определенные зоны, пока не получившие единого толкования, но несомненно влияющие на биоту, а, следовательно, входящие в структуру исследования экологических функций литосферы. Рассмотрение их в составе геодинамической экологической функции условно, так как с этими зонами связаны пояса минеральных ресурсов, геохимические и геофизические поля, т.е. они обладают полигенным воздействием на биоту. Однако в основе их лежат геотектонические причины, что и определило отнесение проблемы к геодинамическому фактору с обобщающим названием *"геодинамические зоны"*.

* При участии Н.А.Касьяновой.

экологической геологии будет изучение взаимосвязи "геодинамических зон" с развитием биоты и человеческой популяции как биологического вида и социума.

Современные *геодинамические аномалии* - это локальные участки земной коры с аномальными по интенсивности (амплитуде) и импульсивности (скорости) проявлениями геодинамических процессов, характеризующихся волновой природой развития. Как уже отмечалось, это объект и предмет исследования научного направления "экологической геодинамики", связанного с изучением нестабильного напряженно-деформированного состояния земных недр (литосферных блоков), обусловленных меняющимися во времени тектоническими напряжениями, активизирующими и направляющими деформационные и миграционные процессы как в пределах земной коры, так и на земной поверхности. Концептуальными положениями этого направления, по мнению Н.А.Касьяновой (1996), являются:

современное напряженно-деформированное состояние земных недр обладает пространственно-временной нестабильностью, которая носит волновой характер с периодичностью 2-3 года, 5-6, 11-13, 22-25, 60 лет;

на фоне выраженной региональной дифференцированности напряженного состояния земных недр имеют место локальные аномальные проявления современных геодинамических процессов (геодинамические аномалии), в динамике которых также прослеживается волновая природа. Интенсивные локальные аномалии вертикальных и горизонтальных движений земной поверхности приурочены к зонам тектонических нарушений различного типа и ранга или их пересечениям; эти аномальные движения высокоградиентны (свыше 50 мм/год), короткопериодичны (от 0,1 года до первых лет), пространственно локализованы (от 0,1 км до первых десятков километров);

отмечаются пространственно-временные закономерные связи между геодинамическим и флюидодинамическим режимами осадочного чехла.

Из этого следует, что содержание таких геодинамических аномалий несколько шире, чем собственно "геодинамические". Оно охватывает и вопросы повышенной флюидной активности и миграционных процессов, определяя широкий диапазон воздействий, в том числе геохимических, и на литосферу, и на биоту. Однако в основе этих аномалий лежит тектонический фактор, активизирующий геологические процессы природного и техногенного происхождения.

Влияние геодинамических неоднородностей литосферы на литотехнические системы, экосистемы и человека

Влияние современных геодинамических неоднородностей на эколого-геологические условия и состояние биоты определяется характером и интенсивностью связанных с ними деформационных и миграционных процессов. Воздействие этих процессов существенно для функционирования литотехнических систем и биоты, хотя и носит для последней в большинстве случаев опосредованный характер; они могут:

являться причиной инициации различных геологических процессов (оползней, землетрясений, цунами, изменения уровневого режима водоемов и др.), имеющих

непосредственное влияние на окружающую среду и условия жизнедеятельности человека, контролируя масштабы разрушительной деятельности этих процессов;

обусловить деформации и даже разрушения инженерных сооружений и тем самым оказать воздействие на биоту, включая человека;

явиться причиной усиления коррозионных процессов, поскольку активизация разломов сопровождается увеличением концентрации химически агрессивного флюида в локальных объемах, а резкое увеличение уровня локальных напряжений приводит к эффекту "коррозия под напряжением";

способствовать созданию миграционных условий для распространения потенциально экологически вредных веществ.

Геодинамические зоны, учитывая последствия, которые они вызывают, подразделяются на два блока. Первый включает геодинамические аномалии, которые активизируют природные геологические процессы, непосредственно воздействующие на биоту. Второй блок включает геодинамические аномалии, в которых высокоградиентные короткопериодические тектонические движения влияют на биоту опосредованно через разрушение инженерных сооружений.

Геодинамические аномалии как активизаторы геологических процессов, непосредственно воздействующих на биоту. Они приурочены к местам напряженного состояния земных недр и связаны в основном с зонами тектонических нарушений различного типа и ранга. По сути, это места сброса напряжений земной коры, проявляющиеся в высокоградиентных движениях литосферных блоков, землетрясениях и вулканической деятельности, инициирующих развитие целого спектра сопутствующих катастрофических геологических процессов. Такие аномальные участки хорошо известны в рифтовых зонах, в альпийском поясе горно-складчатых сооружений, а также в зонах активизации неотектонических движений. Воздействие этих процессов на биоту, экологические последствия их проявления с достаточной полнотой рассмотрены ранее.

Принципиально важным положением, послужившим основанием для самостоятельного рассмотрения геодинамических аномалий как активизаторов геологических процессов и их воздействия на биоту и человека, является интегральный подход с учетом всего комплекса возникновения катастрофических геологических процессов в отличие от индивидуального подхода по каждому процессу, реализованному в разделе 6.2. Таким путем в постановочном плане обосновывается необходимость оценки экологических последствий комплексного воздействия геологических процессов, в том числе и с учетом их синергетики. Это новое видение проблемы во взаимодействии геологических процессов и биоты и, главным образом, человека. Нам представляется, что ее решение существенно улучшит прогнозную оценку экологического состояния и риска потенциально опасных территорий.

Геодинамические аномалии как фактор потенциального экологического риска при функционировании техногенных объектов повышенной опасности. Основную экологическую опасность в этой ситуации вызывают аномальные проявления современных геодинамических процессов, поскольку процесс деформации горных пород в пределах геодинамических аномалий происходит, по данным Н.А.Ка-

сяновой, с исключительной интенсивностью и крайне импульсивно, очень быстро во времени, что соизмеримо со временем "жизни" самой геодинамической аномалии (от первых месяцев до полугода). Именно в пределах геодинамических аномалий зафиксированы самые высокие градиенты деформации земной коры, включая земную поверхность.

Следует отметить, что сами по себе геодинамические аномалии не несут в себе экологической опасности. Она возникает лишь в том случае, когда потенциально экологически опасные техногенные объекты (атомные станции, нефтегазовые объекты, места складирования промышленных химических и ядерных отходов и т.п.) оказываются в зоне влияния аномального проявления современных геодинамических процессов, которые концентрируются, как правило, в пределах локальных участков и могут оказать влияние на устойчивость технического состояния этих объектов. При этом масштабы экологического ущерба находятся в прямой зависимости от степени потенциальной опасности самих объектов, интенсивности и импульсивности проявления в их пределах современных геодинамических процессов.

Рассмотрим эту проблему более детально на примере нефтегазовых комплексов. По данным Н.А.Касьяновой, аномальные проявления геодинамических процессов нередко являются причиной аварий нефтегазовых скважин, связанных с резкими искривлениями обсадных колонн скважин, зачастую приводящих к их разгерметизации. В этом случае скважины представляют собой опасность для загрязнения природной среды и водных ресурсов, поскольку через них могут происходить утечки нефти и соленой подземной воды на поверхность и в верхние горизонты с пресной водой. Более серьезные аварии, связанные со сломами обсадных колонн, способствуют свободному и обширному поступлению в пластовые воды нефтепродуктов и ядохимикатов, используемых при бурении.

Последствия аварий скважин представляют особую экологическую опасность в случае, если месторождения находятся в пределах тектонически активных в современное время областей. Благодаря высокой степени раздробленности и трещиноватости горных пород в пределах мобильных зон и активной флюидодинамики, поступившие в пластовые воды нефтепродукты и ядохимикаты могут распространяться на значительные расстояния как по площади, так и беспрепятственно поступать в верхние горизонты, загрязняя грунтовые воды. Это особенно важно для районов, известных своими минеральными источниками. В связи с тем, что в пределах складчатых областей нефтегазовые залежи и минеральные воды часто локализируются в пределах одних и тех же структурных зон и нередко приурочены к одним и тем же зонам глубинных разломов, то имеется реальная угроза загрязнения минеральных вод нефтепродуктами и ядохимикатами. Например, в Предкавказье минеральные источники широко распространены именно в геодинамически активных районах (районы Минеральных Вод, Северной Осетии и др.) и приурочены, как правило, к зонам активных в современное время глубинных разломов.

О масштабах загрязнения окружающей среды в связи с аварийностью нефтегазовых скважин можно судить по одной только территории деятельности ПО "Грознефть", где в пределах Терско-Сунженской нефтегазоносной зоны с начала разра-

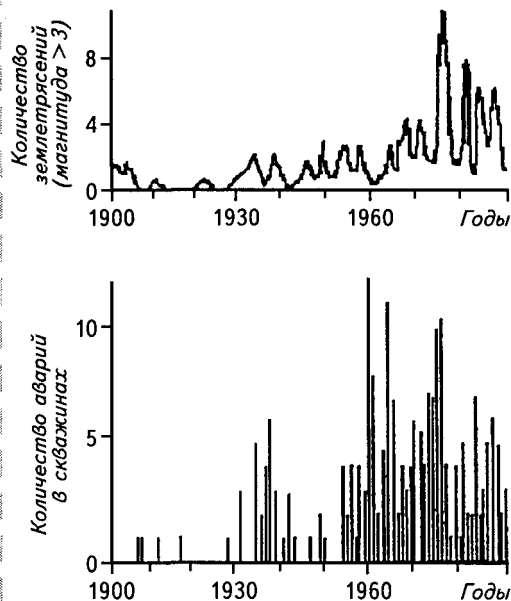


Рис. 23. Сопоставление временного хода распределения сильных землетрясений и аварий в скважинах в пределах Терско-Сунженской нефтегазоносной зоны (по Н.А.Касьяновой, 1996)

боток месторождений (с 1893 г.) пробурено около 15 000 скважин различного назначения. Учитывая, что основное бурение и эксплуатация месторождений в пределах этой зоны охватывает последние 50 лет, здесь только официально зарегистрировано более 3000 случаев (20%) серьезных аварий, приведших к ликвидации скважин. Из них 500 скважин были ликвидированы по геологическим причинам. Сопоставление количества землетрясений, являющихся также отражением современной геодинамической активности территории, и случаев ликвидации скважин по причине резкого искривления, смятия, среза обсадных колонн в пределах Терско-Сунженской нефтегазоносной зоны выявило высокую степень корреляции между ними (рис. 23).

Интенсивные и разнонаправленные современные вертикальные

движения земной поверхности могут привести также к крупным наземным авариям и вызвать крупномасштабные очаги загрязнения земной поверхности. В частности, с локальными супердеформациями земной поверхности имеют пространственно-временную связь порывы трубопроводов различного назначения. Порывы нефте- и газопроводов происходят как в пределах месторождений, так и далеко от них — по всей линии их трассирования. Из них 76-94% аварий совпадают во времени и пространстве с локальными аномальными проявлениями современных вертикальных движений земной поверхности.

При порывах нефтепроводов объектом экологического загрязнения являются непосредственно земная поверхность и верхняя часть разреза горных пород. В этом случае трудно оценить реальный ущерб, нанесенный окружающей среде в результате нефтяных разливов, масштабы которых нередко исчисляются десятками и сотнями квадратных километров. Однако, если судить по размерам экологических штрафов (десятки миллионов долларов), этот ущерб — колоссальный. Например, при пожаре на скв.37 Тенгизского месторождения, возникшем в результате аномального выброса углеводородной смеси, превышение ПДК по сероводороду было отмечено в пос.Сары-Камыс, расположенного в 26 км от месторождения. В черте г.Аксай также зарегистрировано превышение ПДК по сероводороду, хотя город расположен от контура Карачаганакского месторождения на 14 км. Со-

гласно проведенным расчетам, при разрыве газопровода в пределах Карачаганакского месторождения концентрация сероводорода и сернистого ангидрида будет превышать ПДК на расстоянии более 20 км.

В связи с очевидной зависимостью эколого-геологического благополучия от геодинамического состояния земной коры стала актуальна разработка прогноза возможных изменений экологической обстановки. Такой прогноз должен выявить вероятный экологический уровень в зависимости от меняющихся геодинамических условий.

6.4. Критерии оценки состояния эколого-геодинамических условий, обусловленных проявлением геодинамической экологической функции литосферы

Оценка воздействия геологических и других природных и техногенных процессов на экосистему в целом и человека в частности, как и оценка состояния эколого-геологических условий могут осуществляться по комплексу критериев и показателей, которые могут быть разбиты на четыре группы:

геодинамические, оценивающие масштаб и интенсивность развития геологических процессов;

характеризующие возможные экологически неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафта и его литогенной основы в результате активно действующих геологических процессов;

биологические, характеризующие изменение разных представителей биоты и их комплекса в целом;

социально-экономические.

Биологические, экономические и социальные показатели предпочтительно использовать для оценки воздействия катастрофических процессов на территориях промышленно развитых и градопромышленных агломераций, специфика которых определяется высокой плотностью населения и концентрацией материальных ценностей человеческого общества. Ботанические и почвенные критерии наиболее информативны вне территорий интенсивного промышленного использования, где природа находится в более естественном состоянии. Геодинамические критерии оценки пригодны для территорий любой освоенности.

Геодинамические критерии и показатели масштаба и интенсивности развития геологических процессов

Для оценки влияния геологических процессов на состояние эколого-геологических условий используются критерии, характеризующие изменения рельефа, самого массива, качества геологического пространства. Они подразделяются на *площадные* (отношение нарушенной площади к ненарушенной или общей пло-

щади), *энергетические* (скорости и объемы смещаемых пород) и *динамические* (скорости, темпы нарастания негативных нарушений поверхности и подземного пространства литосферы). Численные значения таких критериев и выделяемые на их основе классы состояний эколого-геологических условий показаны в табл. 17-19.

Эти критерии, несмотря на договорной статус их ранжирования, с успехом могут быть использованы при тематических работах, при мелко- и среднемасштабном картировании.

При крупномасштабных работах следует учитывать специфику проявления каждого процесса. Так, для оползней следует разделять пораженность стабилизировавшимися, временно стабилизировавшимися и действующими оползнями (табл. 38). Наиболее важно учесть экологические последствия действующих оползней. Они связаны или с погребением под грунтовой массой людей, животных, растительности, инженерных сооружений, или со смещением, которое сопровождается нарушением ландшафта и деформацией сооружений, ведущей часто к их разрушению и жертвам. Поэтому в качестве критериев определения класса состояния эколого-геологических условий предлагается использовать объем, глубину и скорость смещения оползневых тел (см. табл. 38). Так как на крупномасштабной карте в качестве самостоятельного массива пород могут быть выделены определенные объемы оползневых тел, существенное значение с точки зрения экологических последствий может иметь степень их активности (доля площади с признаками оползневых подвижек, %).

Экологические последствия действия селя зависят от его мощности, определяемой суммарным объемом вынесенного твердого материала (тыс. м^3), который во многом зависит от густоты селевой сети ($\text{км}/\text{км}^2$), достаточно легко рассчитываемой путем дешифрирования аэрофотоснимков. Поэтому для определения класса состояния эколого-геологических условий предлагаются эти два показателя. Какова будет зона экологических нарушений при действии на человека, биоту и хозяйственные объекты снежных лавин, определяется размером площади, подверженной воздействию лавин (%) и их потенциальной энергией, зависящей от высоты падения и объема снежной массы (м^3).

Экологические последствия обвалов связаны с ударной силой отдельных глыб и крупных блоков пород и с образованием завалов. Поэтому основной классификационный показатель - объем. Вторая группа геологических процессов обычно не представляет прямой угрозы для жизни человека, но ухудшает качество природной среды, комфортность проживания человека и существования биоты. Для нее в качестве индивидуальных критериев оценки можно рекомендовать показатели и величины, приведенные в табл. 39.

Специфическая группа геодинамических критериев предложена Н.А.Касьяновой для оценки экологического риска функционирования литотехнических систем, расположенных в пределах геодинамических аномалий (табл. 40). Ранжирование на четыре категории осуществлено по эмпирическим данным, полученным при анализе аварий на нефтегазовых комплексах.

**Показатели оценки состояния эколого-геологических условий по характеру и интенсивности
(по В.Т.Трофимову)**

Состояние эколого-геоло- гических условий	Оползни				
	Стабилизиро- вавшиеся	Временно стабилизиро- вавшиеся	Действующие		
			Объем, м ³ глубина смещения, м	Степень активности (площадь со сле- дами подвижек)	Скорость смещения
Удовлети- тельное	Не снижают класс состояния		$\frac{n \cdot 10}{\text{До } 5}$	< 0,5	n м/год
Условно удовлети- тельное	Не являются негативным фактором	Оценка по прогнозной карте	$\frac{(10^2 - 10^3)}{5 - 20}$	0,05-0,25	n м/мес.
Неудовлетво- рительное			$\frac{(10^4 - 10^5)}{20 - 50}$	0,25-0,50	n м/сут
Катастрофи- ческое			$\frac{(10^6 - 10^7)}{> 50}$	> 50	n м/с

**Показатели оценки класса состояния эколого-геологических условий
ухудшающих качество природной среды, комфортность проживания человека**

Состояние эколого-геологиче- ских условий	Опустынивание (пораженность), %		Дефляция			Вторичное засоление	
			Пораженность, %		Интенсив- ность, т/га в год	Пло- щадь, %	Содержа- ние легко раствори- мых солей, г/100 г грунта % мас.
	Умеренной интенсив- ности	Высокой интенсив- ности	Умеренной интенсивно- сти (гор. А ₁ смыт, мнее 50% гор. А)	Высокой интенсив- ности (гор. А ₁ смыт)			
Удовлетво- рительное	< 10	< 5	< 10	< 5	До 3	< 5	$\frac{< 0,01}{< 0,06}$
Условно удовлетво- рительное	10-50	5-25	10-50	5-25	3-10	5-20	$\frac{0,1 - 0,4}{0,6-1,0}$
Неудовлет- ворительное	> 50	25-50	> 50	25-50	10-20	20-50	$\frac{0,4 - 0,8}{2-3}$
Катастро- фическое		> 50		> 50	> 20	> 50	$\frac{\geq 0,8}{> 0,6}$

Таблица 38

геологических процессов, представляющих прямую угрозу жизни и существованию биоты и Н.С.Красиловой, 2000)

Если		Лавины		Обвалы		Зона экологического состояния биоты
Густота селовой ссти, км/км ²	Разовый объем выноса твердой составляющей, тыс.м ³	Доля площади, подверженной воздействию лавин, %	Объем, м ³	Пораженность, %	Объем, м ³	
< 0,1	n · 1	< 5	10	< 5	Единицы	Норма
0,01–0,05	n · 10	5–25	10 ² –10 ⁴	5–25	n · (10–10 ²)	Риск
0,05–0,10	n · 100	25–50	10 ⁵ –10 ⁶	25–50	n · (10 ³ –10 ⁴)	Кризис
> 0,1	n · 1000	> 50	10 ⁷	> 50	n · 10 ⁵	Бедствие

Таблица 39

по характеру и интенсивности геологических процессов, и существования биоты (по В.Т.Трофимову и Н.С.Красиловой, 2000)

Абразия		Активно действующие осыпи, % площади	Оврагообразование, растущие овраги, км/км ²	Плоскостной срыв (глубина смытости почвенных горизонтов)	Просадка (суммарная, реализованная), см	Суффозия, кол-во форм на 1 км ²	Карст, кол-во поверхностных форм на 1 км ²
Пораженность, %	Скорость переработки берегов, м/год						
0 < 20	< 1	< 25		Менее 10% гор. А ₁	< 5	< 5	< 5
20–75	1–3	25–50	< 0,7	Гор. А ₁ или 50% гор. А	5–50	5–50	5–50
> 75	> 3	> 50	0,7–2,5 > 2,5	Гор. А ₁ , частично гор. В Гор. А и В	> 50	> 50	> 50

**Критерии оценки экологического риска,
возникающего при функционировании литотехнических систем,
расположенных в пределах геодинамических аномалий (по Н.А.Касьяновой)**

Критерий оценки	Категория риска			
	Практически незначимая	Незначительная	Средняя	Высокая
Скорость современных вертикальных движений земной коры, мм/год	До 5	5-30	30-50	50-70 и выше
Скорость деформации зем- ной поверхности, мм/км/год	До $0,5 \cdot 10^{-5}$	$0,5 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$ - $3 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$ - $7 \cdot 10^{-5}$ и выше
Время локального деформирования земной поверхности, мес.	Более 12	6-12	3-6	1,5-3,0
Протяженность геодинами- ческих аномалий, км	10-40 и больше	5-10	2-5	0,1-2,0
Изменение тектонического напряжения, МПа	До 0,5	0,5-1,0	1-2,5	2,5-5,0 и выше

**Критерии и показатели, характеризующие
экологически неблагоприятные изменения
абиотических компонентов ландшафта и его литогенной основы
в результате активно действующих геологических процессов**

Экологически неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафта могут рассматриваться по нескольким позициям: степени и площади изменения природной среды под воздействием геологических процессов, глубине деформации литогенной основы, степени деградации почвенного покрова (смытости почвенных горизонтов, содержания гумуса и т. д.), изменению уровня грунтовых вод относительно критического значения, накоплению легкорастворимых солей, изменению поверхностного стока, покрытию поверхности абиотическими образованиями (в результате наводнений, селевых выносов, оползней-потоков и др.), возможности возникновения наведенных геологических процессов. В качестве примеров приведены показатели оценки состояния рельефа (табл. 41) и почвенного покрова (табл. 42) в зависимости от его измененности под воздействием природных и техногенных геологических процессов.

В соответствии с этим перечнем к классу удовлетворительного состояния среды и зоне экологической нормы относятся территории со следующими последствиями развития геологических процессов: характерны незначительные изменения на ограниченной по площади территории (менее 5%); возможна локальная (менее 5% площади) деформация литогенной основы ландшафта на глубину до 5 м; почвы несмытые и слабосмытые (менее 10% горизонта A_1), с содержанием гумуса

**Оценка состояния рельефа и подземного пространства
в зависимости от их измененности природными и техногенными
геологическими процессами (по В.Т.Трофимову и Д.Г.Зилингу)**

Критерий оценки	Состояние эколого-геологических условий			
	Удовлетвори- тельное	Условно удовлетвори- тельное	Неудовлетво- рительное	Катастрофи- ческое
Площадь техногенного рельефа к площади участка, %	До 10	10-25	25-50	Более 50
Размах нарушенного рельефа, %	До 10	10-20	20-50	—
Площади подработанных терри- торий, %	До 10	10-25	25-50	—

Таблица 42

**Оценка состояния почвенного покрова в зависимости от его измененности природными и
техногенными геологическими процессами (по В.В.Виноградову и др., 1993)**

Критерий оценки	Состояние эколого-геологических условий			
	Удовлетво- рительное	Условно удовлет- ворительное	Неудовлетвори- тельное	Катастрофическое
Содержание гумуса, % от природного	> 90	70-90	30-70	< 30
Площадь вторично засоленных почв, %	< 5	5-20	20-50	> 50
Глубина смытости поч- венных горизонтов		Смыв гор. А ₁ или 50% гор. А	Смыв гор. А и частично АВ	Смывы гор. А и В
Глубина смытости, % почвенного профиля	< 10	10-30	30-50	> 50
Площадь обнаженных коренных пород, %	< 5	5-10	10-25	> 25
Площадь ветровой эро- зии (полностью сдутые почвы), %	< 5	10-20	20-40	> 40

не менее 90% от природного; повышение уровня грунтовых вод не выше критиче-
ского значения; незначительное увеличение содержания легкорастворимых солей.

К классу условно удовлетворительного состояния среды или к зоне экологиче-
ского риска относятся территории, для которых характерны заметные негативные
изменения природной среды геологическими процессами на площади до 25% с со-
хранением этой тенденции; деформация и смещение литогенной основы ланд-
шафта на глубину до 20 м; повышение уровня грунтовых вод до 25% от критиче-

ского; почвы слабо- и среднесмытые (горизонт A_1 или 50% горизонта A), содержание гумуса 70-90% от природного, накопление легкорастворимых солей до 1,0%; нарушение поверхностного стока из-за подпруживания завальными дамбами высотой до 5 м русел ручьев и речек с образованием прудов и озер; локальное покрытие поверхности абиотическими образованиями мощностью до 10 см.

К классу неудовлетворительного состояния среды или к зоне экологического кризиса относятся территории, на которых последствия геодинамических воздействий достигают пороговых значений и приводят: к существенному устойчивому отрицательному изменению ландшафта на территории площадью до 50%; изменению характера рельефа; деформации и смещению литогенной основы ландшафта на глубину до 50 м; повышению уровня грунтовых вод до 50% от критического; сильной смытости почв; накоплению легкорастворимых солей до 3%; перекрытию абиотическими образованиями мощностью 10-20 см; подпруживанию русел ручьев и речек завальными дамбами высотой более 10 м с опасностью прорыва образовавшихся озер.

К классу катастрофического состояния среды или зоне экологического бедствия относятся территории, на которых геодинамические воздействия превышают пороговые значения и приводят к глубоким и необратимым изменениям или разрушению ландшафта, к потере его экологических функций на площади более 50%; деформации и смещению литогенной основы ландшафта на глубину более 50 м; повышению уровня грунтовых вод свыше 50% от критического значения; перекрытости мощными абиотическими образованиями; весьма сильной смытости почв до полного уничтожения почвенных горизонтов; возникновению наведенных геологических процессов, усугубляющих негативность экологической ситуации.

Биологические критерии и показатели измененности представителей биоты и их комплексов под воздействием геологических процессов

Биологические показатели служат, с одной стороны, для оценки измененности представителей биоты под воздействием геологических процессов, а с другой, - часто используются как индикаторы характера и активности развития этих процессов. Это такие критерии, как плотность проективного покрытия растительности, изменение биоразнообразия, появление вторичных видов растительности и т.д. Эти критерии не только характеризуют возможные экологические последствия действия геологических процессов напрямую на биоту, но и опосредованно на человека. Например, уменьшение проективного покрытия растительности, которое происходит в результате природных геологических процессов (плоскостной сыв и т.п.) или антропогенных воздействий (перевыпас скота), опосредованно может сказаться на условиях жизнедеятельности человека и даже на его здоровье. Взаимосвязанность процессов в природе обусловит при уменьшении проективного покрытия растительности активизацию процессов эрозии и дефляции, что, в свою очередь, приведет, с одной стороны, к увеличению запыленности атмосферы и к пыль-

**Биологические и экономические критерии оценки состояния экосистем
от воздействия геологических и других природных процессов**

Критерии оценки	Параметры оценки	Состояние экосистем под воздействием природно-антропогенных факторов			
		Норма	Риск	Кризис	Бедствие
Биологические	Число человеческих жертв	Отсутствуют	До 30	31-1000	> 1000
Экономические	Материальный ущерб в минимальных размерах оплаты труда	< 1 тыс.	1-500 тыс.	0,5-5,0 млн	> 5 млн

ным бурям, а с другой, —к снижению емкости пастбищных угодий и снижению продуктивности скота. Все это ухудшит условия жизнедеятельности человека.

Среди биологических критериев, в первую очередь, следует назвать *число человеческих жертв*, обусловленных определенным геологическим процессом. Обобщая данные по этому вопросу, экологической нормой предлагается считать такое воздействие опасных и неблагоприятных геологических процессов, при котором не нарушается устойчивое развитие экосистемы и не происходят несчастные случаи (табл. 43). В психологическом плане воздействие таких процессов для большинства населения остается незамеченным, а отдельные травмы могут восприниматься многими как трагический эпизод. Экологическим риском можно считать такое проявление геологических процессов, которое снижает стабильность экосистем. Число жертв достигает 30 человек (в принципе первые десятки). У большинства населения такие события (например, сход селя или оползня) воспринимаются как неприятность, вызывают чувство неудобства и беспокойства. Экологическим кризисом считаются такие проявления геологических процессов, когда происходит потеря устойчивости экосистем и число жертв достигает 1000 человек (в принципе $p \cdot 10^3$). Эти события существенно меняют психологическую обстановку и вызывают в населенных регионах вспышки эмиграции. Экологическим бедствием считается такое проявление опасных геологических процессов, когда происходят практически необратимые нарушения экосистем и число жертв превышает 1000 человек. Эти события создают в обществе общее уныние, вызывают принципиальные изменения жизненных ценностей, а у уцелевших людей навсегда остаются событием, сломавшим их жизнь (например, потеря семьи при землетрясении).

Вторая группа классификаций геологических процессов по числу жертв рассматривает тяжесть опасности каждого природного процесса в отдельности. Такой подход использовался многими исследователями - С.М.Мягковым, А.Л.Рагозиным, В.И.Осиповым, Н.С.Красиловой. Вероятно, оценивать влияние и отдель-

ных геологических процессов на состояние экосистем по числу жертв следует с позиции уже предложенных классов: нормы, риска, кризиса и бедствия.

Ботанические критерии оценки отличаются высокой чувствительностью к нарушениям окружающей среды, в том числе и литосферы, и высокой физиономичностью. Для оценки таких площадных геологических процессов, как заболачивание, вторичное засоление и частично ветровая эрозия, приводящих местами к появлению зон "экологического бедствия", наиболее информативны следующие критерии оценки: ухудшение видового состава естественной растительности, уменьшение индекса разнообразия Симпсона, проективное покрытие пастбищной растительности и др. (см. табл. 8). Если увязать зоны экологического состояния растительности с классами состояний экологических условий, то появляется возможность отображения этой информации на эколого-геологических картах.

Почвенные критерии оценки в рассматриваемом контексте также очень важны. Наибольший интерес представляют почвенно-эрозионные критерии, напрямую связанные с геологическими процессами (ветровой и водной эрозиями, вторичным засолением почв), как правило, интенсифицированных хозяйственной деятельностью человека. К ним относятся глубина смытости почвенных горизонтов, площадь обнаженных коренных пород, площадь полностью смытых почв, задернованность песчаных почв, площадь вторично засоленных почв (см. табл. 11).

Использование частных критериев в совокупности позволяет вывести *комплексные биологические показатели* для выделения зон экологического состояния. В соответствии с такими критериями к зоне экологической нормы, которой, как правило, соответствует удовлетворительное (благоприятное) состояние литосферы, относятся территории, на которых происходит естественная смена доминантов, субдоминантов и характерных видов; уменьшение биоразнообразия (индекс разнообразия Симпсона) может быть не более 10% от нормы; нет заметного снижения продуктивности и устойчивости экосистемы; плотность проективного покрытия соответствует природно-климатическим условиям.

К зоне экологического риска, с которой обычно коррелирует удовлетворительное (относительно неблагоприятное) состояние литосферы, относятся территории, для которых характерна изреженность, локальная угнетенность растительности; появление вторичных видов; уменьшение биоразнообразия (индекс разнообразия Симпсона) до 10-25% от нормы; проективное покрытие растительности может уменьшиться до 70% от нормы; снижение плодородия почв до 85% от потенциального приводит к заметному снижению продуктивности и устойчивости экосистем; уровень активной микробной биомассы снижается в 5-10 раз. Эти изменения приводят к появлению незакрепленных и полужакрепленных склонов с последующим развитием плоскостного смыва, накоплением селевого материала и т.п. Изменения растительных экосистем в этой зоне не носят необратимого характера.

К зоне экологического кризиса, с которой при наличии ясно выраженных связей должен коррелировать класс неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) состояния литосферы, относятся территории, на которых наблюдается локальное уничтожение травянистой и древесной растительности; формирование на мес-

те коренной растительности сукцессионных рядов вторичной растительности, соответствующих изменению режима влагообеспеченности (иссушению, обводнению, вторичному засолению почв и т.п.); преобладание вторичной растительности; уменьшение биоразнообразия до 25% от нормы; проективное покрытие растительности может уменьшиться до 10% от нормы. Снижение плодородия почв (25-65% от потенциального) приводит к сильному снижению продуктивности и устойчивости экосистем, ведущих к труднообратимым нарушениям. Уровень активной микробной биомассы снижается в 10-50 раз. Изменения естественной растительности экосистемы носят необратимый характер. Они могут выразиться в сведении лесов; развитии злаковых разнотравных лугов на месте экосистем широколиственных лесов; нагорно-ксерофитной фриганоидного типа растительности (низкорослые кустарники, полукустарники и многолетние травы) на месте сведенных древесно-кустарниковых формаций; в смене растительности луговых сообществ полупустынными (полынь, солянки) и т.п. На грани уничтожения многие виды растений.

К зоне экологического бедствия, с которой, как правило, связан класс катастрофического состояния литосферы, относятся территории, на которых наблюдаются практически необратимые нарушения экосистем: уменьшение проективного покрытия растительности более 50% от нормы; уменьшение обилия вторичных видов, практически полное отсутствие полезных растений; сильное снижение плодородия почв из-за весьма сильной их смывости, значительного снижения содержания гумуса. Для природных растительных экосистем катастрофические последствия имеет замещение их агроэкосистемами, производственными комплексами, поселками.

Социально-экономические критерии оценки воздействия геологических процессов

Воздействие геологических и других природных и техногенных процессов на экосистему и человека может быть оценено в денежной форме. В этом случае используют *экономические критерии* оценки воздействия опасных и неблагоприятных процессов, основным параметром которых является причиненный материальный ущерб. Другой экономический параметр, определяющий суммарный риск как вероятный экономический ущерб (в миллионах рублей на гектар в год), предложен А.Л.Рагозиным.

Экономический ущерб может быть прямым и косвенным. Прямой экономический ущерб рассчитывается через "цену жизни", стоимость содержания инвалидов и восстановительных работ. Н.А.Алексеев для среднего жителя СССР на середину 80-х годов определил "цену жизни" в 350 тыс. руб., а среднюю по миру - 120 тыс. дол. США.

Косвенный экономический ущерб определяется стоимостью недополученной продукции разрушенных предприятий, снижением качества продукции смежников, вынужденных использовать иные варианты снабжения и транспорта и т.д.

Предлагаемые классификации по оценке материального ущерба от воздействия опасных и неблагоприятных процессов часто являются несопоставимыми. Они оценивают степень опасности либо в рублях без указания курса конвертации валюты, либо в долларах США без учета развития уровня экономики России. С нашей точки зрения, наиболее обоснованным является подсчет ущерба, измеряемый размером минимальной оплаты труда. Основываясь на рекомендациях Министерства по делам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций Российской Федерации и учитывая разработанные классы состояния экосистем, нормой предлагается считать такое проявление опасных и неблагоприятных процессов, когда материальный ущерб не превышает 1 тыс. минимальных размеров оплаты труда, риском - от 1 до 500 тыс., кризисом - от 0,5 до 5 млн, бедствием - свыше 5 млн минимальных размеров оплаты труда (см. табл. 43).

Рассмотренные подходы отражают экономические приоритеты в определении ущерба. С экологических позиций они представляются недостаточно корректными. Вероятно надо определять не "цену жизни", а затраты на природоохранные и инженерные мероприятия, обеспечивающие сохранение этих "жизней" и достаточно комфортные условия проживания населения. Сказанное в первую очередь относится к территориям городских агломераций и промышленных районов, т.е. к территориям с высокой концентрацией населения. Наряду с ними экономический критерий оценки может быть использован и для оценки затрат на поддержание нормального функционирования экосистемы территорий сельскохозяйственного использования. В настоящее время стройной и унифицированной схемы таких оценок не существует. Экономический анализ сводится к оценке затрат на конкретные мероприятия и то на базе реальных финансовых возможностей, зачастую не обеспечивающих желаемого природоохранного эффекта. Это и является негативной стороной экономического критерия оценки с экологических позиций.

Социальные критерии оценки воздействия геологических процессов (страхования) прежде всего на человека также вошли в практику. Страхование от опасных природных процессов базируется на статистике о человеческих жертвах и методах расчета прямого и косвенного ущерба. В нашей стране только сейчас разрабатывается информационная система страхования от опасных природных процессов и социальные критерии оценки состояния экосистем от воздействия опасных геологических процессов.

При использовании экономических и, особенно, социальных критериев оценки роль геологов определяется необходимостью разработки геологического обоснования и прогноза тех или иных геологических процессов на изучаемой территории.

Предложенные критерии, характеристики и оценки классов состояния эколого-геологических условий литосферы по особенностям проявления геодинамической функции из-за отсутствия нормативных документов могут рассматриваться как рекомендательные, требующие, однако, доработки и уточнения. Биотические же критерии могут служить сигналом начала негативных изменений определенных компонентов литосферы, требующих от человека незамедлительной оценки и прогноза экологических последствий этих изменений и принятия управляющих

решений по регламентации хозяйственного использования территории или управлению динамикой геологических процессов.

Литература

Гальперин А.М., Ферстер В., Шеф Х.-Ю. Техогенные массивы и охрана окружающей среды. - М.: Изд-во Моск. горного ин-та, 1997. - 534 с.

Голубев Г.Н. Геоэкология. - М.: ГЕОС, 1999. - 338 с.

Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии. - Смоленск: Изд-во Смоленского ун-та, 1998.-448 с.

Мяжков С.М. География природного риска. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. - 224 с.

Опасные экзогенные процессы / Под ред. В.И.Осипова. - М.: ГЕОС, 1999. - 289 с.

Оценка последствий чрезвычайных ситуаций / Г.Л.Кофф, А.А.Гусев, Ю.Л.Воробьев и др. - М.: РЭФИА, 1997. - 364 с.

Природные опасности России / Под общей ред. В.И.Осипова, С.К.Шойгу. Том "Геокриологические опасности". - М.: КРУК, 2000. - 315 с.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

Экология, охрана природы и экологическая безопасность / Под ред. В.И.Данилова-Данильяна. Том 1 и 2. - М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. - 727 с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432.С.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ

7.1. Определение, значение и структура геохимической экологической функции литосферы*

Под геохимической экологической функцией литосферы понимается функция, отражающая свойство геохимических полей (неоднородностей) литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биоты в целом и человеческое сообщество в частности. Объектом исследований при таком подходе являются вещественный, химический состав компонентов литосферы (горные породы, минералы, донные осадки, почвы, подземные воды, нефть, газы) и формируемые ими поля природного, природно-техногенного или техногенного происхождения. В качестве предмета исследований рассматривается система знаний о геохимических полях различного генезиса и их воздействие на живые организмы, а в общем виде - знания о геохимической экологической функции и геохимических свойствах литосферы.

Основной отличительной особенностью геохимической экологической функции литосферы является ее медико-санитарная ориентированность. В силу этого в сферу ее изучения попадают преимущественно те геохимические неоднородности, которые представляют потенциальную опасность или, наоборот, обеспечивают наибольшую комфортабельность состояния и жизнедеятельности биоты, в том числе и человека как биологического вида. По сути именно этим определяется и круг решаемых в рамках изучения этой функции литосферы задач (см. табл. 5).

Функциональными территориальными (точнее объемными) единицами эколого-геохимических исследований являются геохимические зоны *, геохимические провинции и геохимические аномалии, которые могут быть объединены под общим названием "геохимические неоднородности литосферы". Такая их

* Глава составлена при участии Т.А.Барабошкиной.

** Под геохимическим полем мы понимаем геохимически однородную область, связанную большим пространственным накоплением какой-либо группы или ассоциации элементов.

*** Зона геохимическая (по А.Е.Ферсману) - широтная климатическая (ландшафтная) зона со всей совокупностью вызванных ею специфических особенностей в миграции элементов почвенного покрова и биосферы.

**** Провинция геохимическая (по А.Е.Ферсману) - геохимически однородная область, характеризующаяся определенными ассоциациями элементов.

***** Геохимические аномалии - участки территории, в пределах которых хотя бы в одном из слагающих его природных тел статистические параметры распределения химических элементов отличаются от геохимического фона. Геохимический фон - средняя величина природной вариации содержания химических элементов.

иерархия позволяет проводить исследование и описание геохимических свойств литосферы на планетарном (зоны), региональном (провинции) и локальном (аномалии) уровнях. Сказанное в полной мере относится и к биогеохимическим зонам, провинциям и аномалиям, которые приходится изучать при исследовании геохимической экологической функции литосферы.

Геохимические неоднородности литосферы могут быть обусловлены как повышенным, так и пониженным содержанием элементов по сравнению с фоновым. В зависимости от депонирующей среды выделяются следующие геохимические неоднородности: литохимические, обусловленные составом горных пород, почв, донных осадков, техногенных грунтов; гидрохимические - подземных вод; атмосферические - газовым составом почв, горных пород, подземных вод; снеохимические - снегового покрова; биохимические - биоты.

По генезису среди геохимических неоднородностей литосферы следует выделять: природные (естественно-исторические), сформировавшиеся в ходе геологической жизни планеты; природно-техногенные (новообразованные), формирование которых произошло в эпоху техногенеза вследствие использования высокоотходных технологий при низком уровне внедрения средозащитных мероприятий.

Если рассматривать их во временном аспекте, то к наиболее стабильным можно отнести природные литогеохимические аномалии, провинции и зоны. Прочие типы геохимических неоднородностей имеют значительные вариации состава во времени, зависящие от комплекса физико-химических, биогеохимических, геодинамических, техногенных условий.

Структура геохимической экологической функции литосферы, вытекающая из этих позиций, показана на рис. 3. Включение в нее биогеохимической составляющей может вызвать возражения. В связи с этим следует напомнить, что биогеохимические функциональные единицы обусловлены геохимическими свойствами литосферы, но носителями элементов являются растения. Поэтому с рассматриваемых нами позиций, включение биогеохимических неоднородностей в структуру эколого-геохимических исследований представляется не только оправданным, но и необходимым.

Выделение в структуре рассматриваемой функции природных и техногенных геохимических неоднородностей связано с различной дифференциацией элементов по профилю в природных и природно-техногенных системах. Это проиллюстрируем примером распределения олова по разрезу (рис. 24) в районе разведки и эксплуатации дальневосточных оловянных месторождений. Как видно из приводимых эпюр, природная геохимическая аномалия в почвах, сформированная над рудным телом, менее интенсивна, чем природно-техногенная. В природной аномалии концентрация олова минимальна в приповерхностном горизонте и достигает максимальных величин в нижней части профиля, приуроченного к коренным породам. Анализ распределения олова вниз по профилю в районе автодороги и вблизи хвостохранилища (природно-техногенная аномалия) показывает более высокое содержание олова в верхней части разреза по сравнению с природной аномалией, что обусловлено интенсивным поступлением элемента аэральным и аквальным

путем с техногенных объектов. Это общая картина для всех природных и природно-техногенных аномалий.

Отмеченные особенности дифференциации элементов в различных генетических типах геохимических неоднородностей следует учитывать для правильной выработки экологической политики в регионах. Так, литогеохимические аномалии техногенного генезиса в отличие от природных имеют приповерхностный характер распределения элементов по профилю и могут быть в значительной степени нивелированы за счет использования различных методов очистки геологической среды от загрязнения.

Подчеркнем, что при эколого-геохимических исследованиях чрезвычайно важным являются выявление и вычленение путей воздействия химических элементов литосферы на биоту и человека, в первую очередь на состояние его здоровья. Обзор публикаций позволяет выделить три основных пути такого воздействия:

воздушный - через попадание токсикантов в виде газа или аэрозолей в организм человека;

водный - через подземные воды, употребляемые для питьевого водоснабжения;

пищевой - через трофическую цепь от загрязненных растений к животным и человеку (рис. 25).

В реальной жизни они чаще всего проявляются совместно или в парных комбинациях, усугубляя негативное воздействие на население, проживающее в зоне воздействия геохимических факторов. При этом следует учитывать, что принятие радикальных природоохранных мер не может основываться только на интегральной оценке загрязнения местности через медико-статистические показатели (заболеваемость, смертность населения и т.д.), а потребует установления среды и источников загрязнения и путей попадания токсикантов в организм человека. Решение этой проблемы - задача довольно сложная и требует разработки определенных методических подходов и очередности анализа всех компонентов литосферы. В основу такого анализа может быть положена схема, изображенная на рис. 25. Она позволяет оценить очередность и последовательность исследования разных путей попадания токсикантов в организм человека и определить связанные с ними компоненты литосферы (депонирующие токсиканты среды). Нетрудно заметить, что на этом рисунке четко обособились изучаемые системы, отличающиеся набором

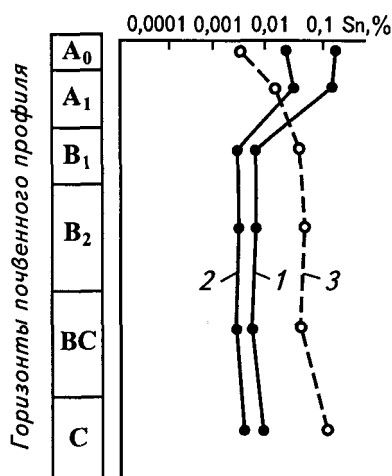


Рис. 24. Распределение олова в районе хвостохранилища (1), вблизи от автодороги (2), над рудным телом (3) (по В.В.Гавриленко, 1993)

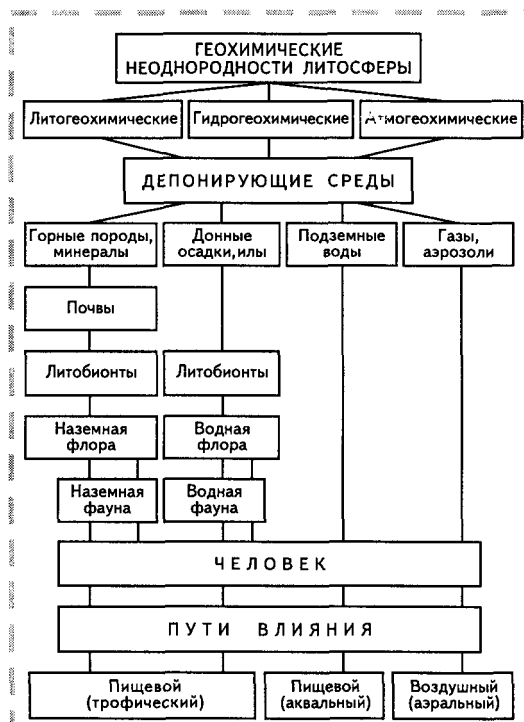


Рис. 25. Пути влияния вещества литосферы (элементов и их соединений) на биоту

подсистемных элементов, коррелирующих с определенными типами геохимических неоднородностей - литохимическим, гидрохимическим, атмохимическим и биохимическим.

Сноухимические аномалии по существу отражают эколого-геохимическое состояние атмосферы, суммируя воздействие природных атмогеохимических (дыхание Земли), природно-техногенных атмогеохимических (газовые новообразования в горных выработках и пр.) и техногенных факторов (выбросы предприятий и др.) и характеризуют динамику геохимической экологической функции литосферы во времени. Снеговой покров отражает контуры аэрогенного загрязнения на период его образования и позволяет судить о динамике происходящих процессов. В период снеготаяния, находящиеся в нем водорастворимые токсиканты мигрируют в поверх-

хностные воды, донные осадки и почвы. Ареал их распространения значительно превышает контуры сноухимической аномалии. Ориентировочная шкала оценки аэрогенных очагов загрязнения приведена в табл. 44.

Системы литосфера (газы)-биота (человек) и литосфера (подземные воды)-биота (человек) достаточно просты для изучения. Их абиотическая составляющая представлена одним из компонентов литосферы, хорошо изученным и оцениваемым по нормированным количественным показателям (ПДК, ПДС, фон, кларк). Здесь все проблемы в ранжировании этих показателей (критериев оценки) на классы состояний, увязанных с состоянием экосистемы в целом и здоровьем человека.

Система, анализируемая при "пищевом варианте" попадания поллютантов человеку, достаточно сложная и нуждается в ряде пояснений по выделяемым в ее составе элементам. По своей сути она наиболее полно отражает единство геохимической среды и жизни, которое сформировалось в процессе естественно-исторической эволюции экосферы Земли, и через подвижные формы элементов проявляется во всех звеньях цепочки "горные породы-подземные воды-газы-почвы-растения-животные-человек". Здесь минеральное вещество литосферы (горные породы, минералы) выступает в качестве минерального ресурса, депо накопления определенных минералов, необходимых для развития биоты (микроорганизмов,

**Ориентировочная шкала оценки аэрогенных очагов загрязнения
(по Б.А.Ревичу, Ю.Е.Саеу и др., 1990)**

Уровень загрязнения	Состояние атмосферного воздуха	Показатели загрязнения снегового покрова, пыли и почв
Средний, умеренно опасный	Превышение ПДК отдельных загрязняющих веществ (пыль, оксиды углерода и азота, сернистый ангидрид); содержание тяжелых металлов выше фона	Средний уровень загрязнения почв (Z_c 16-32) и снегового покрова (Z_c 64-128). Повышенная запыленность снегового покрова (среднесуточная нагрузка 250-450 кг/км ²). Содержание Pb в почве более 100 мг/кг
Высокий, опасный	Превышение ПДК комплекса загрязняющих веществ (пыль, оксиды углерода и азота, сернистый ангидрид); содержание отдельных металлов (главным образом свинца) выше ПДК.	Высокий уровень загрязнения почв (Z_c 32-128) и снегового покрова (Z_c 128-256). В составе аномалий присутствуют химические элементы и загрязняющие вещества I класса опасности (особенно Pb, Cd, Hg) в высоких концентрациях ($K_c > 10$). Содержание Pb в почве более 250 мг/кг. Среднесуточный уровень выпадения пыли 450-800 кг/км ²
Очень высокий, чрезвычайно опасный	Превышение ПДК (иногда многократное) комплекса загрязняющих веществ, в том числе ряда тяжелых металлов.	Очень высокий уровень загрязнения почв ($Z_c > 128$) и снегового покрова ($Z_c > 256$). В составе аномалий в почве присутствуют Pb (> 400 мг/кг), что является индикатором превышения ПДК ингредиентов в воздухе. Очень высокая запыленность снегового покрова (среднесуточная нагрузка 800 кг/км ²)

Примечание: Z_c – суммарный показатель загрязнения; K_c – коэффициент концентрации относительного фонового содержания

лишайников, растений). Оно включает в себя и элементы, токсичные по отношению к живым организмам. Подземные воды – жизненно важная составляющая компонента литосферы, способствующая вовлечению водорастворимых элементов литосферы в биогеохимические взаимодействия, формированию обменных комплексных соединений, доступных для усвоения растениями.

Особое место на пути поступления вещества литосферы к растениям занимает почва, которую по генезису можно рассматривать как континентальную биогенно-минеральную породу. Благодаря комплексу биогеохимических, физико-химических процессов, в почвенном слое, согласно Б.Б.Полынову (1994), вещество литосферы переходит в более активное состояние в результате резкого увеличения (в десятки тысяч раз) общей активной поверхности тонкодисперсной части почв по сравнению с субстратом, особенно монолитной горной породы. Биогеохимическими агентами преобразования вещества литосферы являются высокомолекуляр-

ные органические кислоты (гуминовые и фульвокислоты), биогенная сода, биогенные щелочи, биогенные газы, продукты жизнедеятельности микроорганизмов, низкомолекулярные органические кислоты - муравьиная, уксусная, масляная, молочная, щавелевая, винная и др. Органические кислоты способны к образованию комплексных соединений - хелатов, что повышает возможность организмов усваивать элементы минерального питания, законсервированные в кристаллической решетке.

Благодаря биогеохимическому преобразованию, вещество литосферы в почвенном слое становится доступным для растений и включается в трофическую цепь. Уникальность почвы, как пишет Г.В.Добровольский (1990), состоит в том, что она является:

продуктом биогеохимического развития литосферы (в силу геохимической открытости системы);

средой минерального питания растений, литобионтов и областью преобразования физико-химических форм миграции вещества литосферы в биогенную;

средой, выполняющей роль буфера в системе "литосфера-биота" и "литотехническая система-биота".

Таким образом, почва - это зеркальное отображение комплексного воздействия на литосферу биогеохимических, физико-химических, климатических факторов.

Миграционная способность элементов в породах и почвах рассмотрена в трудах М.А.Глазовской (1992), А.И.Перельмана (1978), Н.Ж.М.Вовена (1989) и др.

Остановимся на некоторых моментах, наиболее объективно отражающих связь в системе "литосфера-растения". Согласно статистической обработке экспериментальных данных, подвижность металлов в почвах и их количество в растительной массе находится в тесной связи с содержанием органического углерода, значениями pH и гранулометрическим составом. Менее резко проявляется влияние карбонатов кальция и емкости поглощения, хотя тенденция связи содержания подвижных форм металлов в почве с накоплением их в фитомассе сохраняется. Почва и растительный покров - это тесно взаимосвязанные блоки единой биогеоценотической системы; перераспределение элементов в этой системе наглядно отражают геохимические показатели.

Учитывая тот факт, что приповерхностная часть литосферы является непосредственной областью минерального питания растений, их наиболее целесообразно использовать в качестве биологических датчиков, отражающих эколого-геохимическое благополучие территории. Растительный блок изучается с целью определения количественного состава химических элементов, для контроля интенсивности поступления микроэлементов в трофическую цепь. Микроорганизмы являются биосубстратом, наиболее чутко реагирующим на малейшие изменения геохимической среды, что жизненно важно контролировать в техногенных районах.

7.2. Природные геохимические поля и аномалии

Литогеохимические поля и аномалии

Природные литогеохимические аномалии обусловлены геолого-структурными особенностями района, его металлогенией, литогеохимической специализацией горных пород, литолого-минералогическими особенностями, а также физико-химическими условиями миграции элементов и их комплексных соединений. Выполненное эколого-геохимическое районирование территории России с точки зрения потенциальной угрозы всему живому, исходящему от природных геологических тел, позволило оценить только 30% ее территории как потенциально экологически безопасную. Согласно В.С.Певзнеру с соавторами (1997), наибольшую угрозу несут образования пермского, мелового и палеогенового возраста, районы автономной активизации и молодые **депресссионные** структуры, прозрачные геохимические зоны, где наряду с ведущими элементами геохимических ассоциаций постоянно наблюдаются элементы и группы элементов, не соответствующие литологическому и формационному составам изученных геологических тел. Они были названы "нехарактерными элементами". К нетипичным элементам обычно принадлежат Bi, As, Sb, Hg, Sn, иногда W, Be, Li, F. Их можно рассматривать в качестве прямых свидетелей открытости геологической системы. Существует определенная связь состава "нехарактерных" элементов с типом геохимического поля. Так, литофильный тип сопровождают группы таких "нехарактерных" элементов, как Be, Mo или Li, F, Hg, U (или F, U, Li, Th), халькофильный тип - чаще As, Se, Bi, хальколитофильный тип - Se, W, Hg, Pb, халькосидерофильный тип - Mo или Ga, Ge, As, Bi (Hg) и т.п.

В пределах Восточно-Европейской платформы прозрачные геохимические зоны преимущественно совпадают с авлакогенами. На Сибирской платформе такие зоны не имеют четкой приуроченности к древним структурам, но совпадают с глубинными сейсмоактивными зонами и пересекают узел глубинного теплопереноса. Для геохимического поля разновозрастных образований Северо-Востока России характерно наличие потенциально-подвижных As, Bi, Pb, Hg, Cd. Сходная картина наблюдается в Забайкалье.

Данные, накопленные в геологической (А.П.Виноградов, В.В.Ковальский, Ю.Н.Ермаков, В.В.Иванов и др.), медицинской (А.П.Авцын, М.А.Риш и др.), биологической (G.Griffith, E.B.Ротшилд) литературе, говорят о том, что состояние биоса в целом определяет геохимический тип разреза. Так, в пределах развития красноцветных терригенных отложений среднего-верхнего девона, как и подсти-

* Прозрачные геохимические зоны - зоны и районы, внутри которых весь разрез, независимо от литологического состава и возраста пород, характеризует тенденция к концентрированию одной и той же группы химических элементов. Например, Бельско-Нахимовская зона с тенденцией к концентрации экологически опасных ассоциаций, представленных Bi, W, Be, U; Кажемская зона - Hg, B, Li; Ладожско-Ботническая зона - Pb, W, Si, Mo; Среднерусская зона - Hg, Bi, B и др. (В.С.Певзнер и др., 1997).

лающего ордовика Северо-Запада, перьми-триаса Башкирии, девона и перекрывающих ледниковых отложений Беларуси возрастает, по данным Е.К.Мельникова, В.А.Рудника (1997), в 1,5-2,0 раза онкозаболеваемость населения, обусловленная, главным образом, формой нахождения и дисбалансом, а не повышенным содержанием ряда тяжелых элементов, присутствующих в окисной труднорастворимой и не переходящей в водные растворы форме.

Аномалии химических элементов в районах рудных месторождений фиксируют экстремальные эколого-геохимические ситуации, известные в природе. Эколого-геохимические особенности отмеченных районов определяют типоморфные ассоциации элементов. В качестве примера в табл. 45 приведены данные по геохимическим ассоциациям химических элементов, концентрирующихся в некоторых типах рудных месторождений и сопровождающих их ореолах рассеивания. Наглядно видно, что подавляющее большинство из них является сильными токсикантами (табл. 46).

Уровни концентрации элементов в центральной части ореолов месторождений, непосредственно трассирующие рудные тела, в десятки, а иногда и в сотни

Таблица 45

**Геохимические ассоциации химических элементов,
концентрирующихся в некоторых типах рудных месторождений
и сопровождающих их ореолах рассеивания (по С.В.Григорян, 1987)**

Тип месторождений	Геохимическая ассоциация
Апатитовые	P-Sr-Ce-La-Y-Yb-Zr-Nb-Mo-Pb-Ba-Sn-Ni-Co-Zn-Cr-V-Sc-Ga-Mn
Кимберлиты	Co-Ni-Cr-Pb-Zn-Ag-Cu-B-Mo-Sn
Редкометалльные пегматиты	Li-Pb-Cs-Nb-Sn-Ta-W-Be-As
Железорудные в скарнах	Mn-Pb-Cu-Zn-Ni-V-Sn-Sr-B-Zr-Mo-Co-Fe-Ti-Cr-Y-Sc
Медно-никелевые	Cu-Ni-Co-Ba-Pb-Zn-Ag-Bi-Sn-Be-W-Zr
Вольфрам-молибденовые в скарнах	Ba-Ag-Pb-Zn-Sn-Cu-W-Mo-Co-Ni-Be-V-Y
Висмутовые в скарнах	As-Pb-Ag-Zn-Co-Cu-Bi-Ni
Оловорудные	Sn-Pb-As-Cu-Bi-Zn-Ag-Mo-Co-Ni-W
Полиметаллические в скарнах	Sb-Cd-Ag-Pb-Cu-Ni-Bi-Co-Mo-Sn-W-Be
Золоторудные	Au-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Mo-Cu-Ni-Bi-Co-Ni-W-Be
Медно-порфировые	Ba-As-Sb-Ag-Pb-Zn-Au-Bi-Cu-Mo-Sn-Co-W-Be
Медные	Ba-As-Pb-Zn-Ag-Sn-Cu-Bi-Co-Ni-Mo
Медно-молибденовые	Cu-Mo-As-Ag-Pb-Zn-Bi-Co-Ni-Be-W
Сурьмяно-ртутные	Sb-Hg-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Be-Co-Ni-W-Sn
Ртутные	Hg-Ba-Ag-Pb-Zn-Cu-Co-Ni-Sn-Mo-W
Стратиформные свинцово-цинковые	Ba-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Co-Ni-Be-V
Медистые песчаники	Cu-Ag-Pb-Ba-Bi-W-Cr-Zn-Mo

**Коэффициент литотоксичности (Тл) элементов по геохимическим группам
(по В.В.Иванову, 1998)**

Группа опасности (класс токсичности соединений)	Тл	Элементы					
		Халькофильные	Литохалькофильные	Литофильные	Сидеролитофильные	Сидерофильные	Халькосидерофильные
Чрезвычайно опасные (супертоксичные – Ia)	15	Hg Cd Tl	ⁿ Sr*	Bc ⁿ U ⁿ Ra ⁿ Rn ⁿ Pu ⁿ Cs ⁿ I ⁿ Ce ⁿ Kr ⁿ Am	–	ⁿ Ru	–
Высокоопасные (Iб)	10	Tc S* Pb As Sb Se	Ba	F Th ⁿ K* ⁿ Ca ⁿ Na ⁿ Rb** O ₃ Cl** B	ⁿ C ⁿ Nb ⁿ Zr P** C**	Cr V	Co Ni
Опасные (II-III)	5	Cu Zn S** Bi Ag	Mo Sr In Ge Ba Si Sn	W Al Li Mn Ga? TR? Cs Sc	–	Os	Pt
Умеренно-опасные (общетоксичные IV)	1	–	–	Rb La? Ce? Na K Ta Nb Ca N Mg и др.	Fe Ti	–	Rh

*Наиболее биологически активные радиотоксичные нуклиды.

**Отдельные соединения с С, Cl, Р относятся к I, II, IV группам опасности; с S, Al, Si, N – к II-IV группам опасности.

раз превышают фоновые, в среднем же уровень концентрации химических элементов (выделяемых в контуре с 95%-й вероятностью) превышает, по данным Е.П.Янина (1993), фоновые значения в 10-15 раз. Это позволяет говорить о необходимости проведения эколого-геохимических исследований данных территорий, так как они зачастую используются под сельскохозяйственные угодья либо под жилую застройку.

Гидрогеохимические провинции и аномалии

Природные гидрогеохимические провинции и аномалии обусловлены геолого-структурными условиями района, литогеохимической специализацией горных пород, их литолого-минералогическими и физико-химическими особенностями. С.Р.Крайновым, В.П.Закутиным (1994) выполнена геохимико-экологическая оценка подземных вод России по комплексу водоносных горизонтов, артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов, воды которых имеют повышенные концентрации нормируемых химических элементов и веществ по отношению к ПДК. Авторы исходили из того, что при превышении концентраций элементов в водах выше ПДК наблюдается рост заболеваемости населения. Поэтому выде-

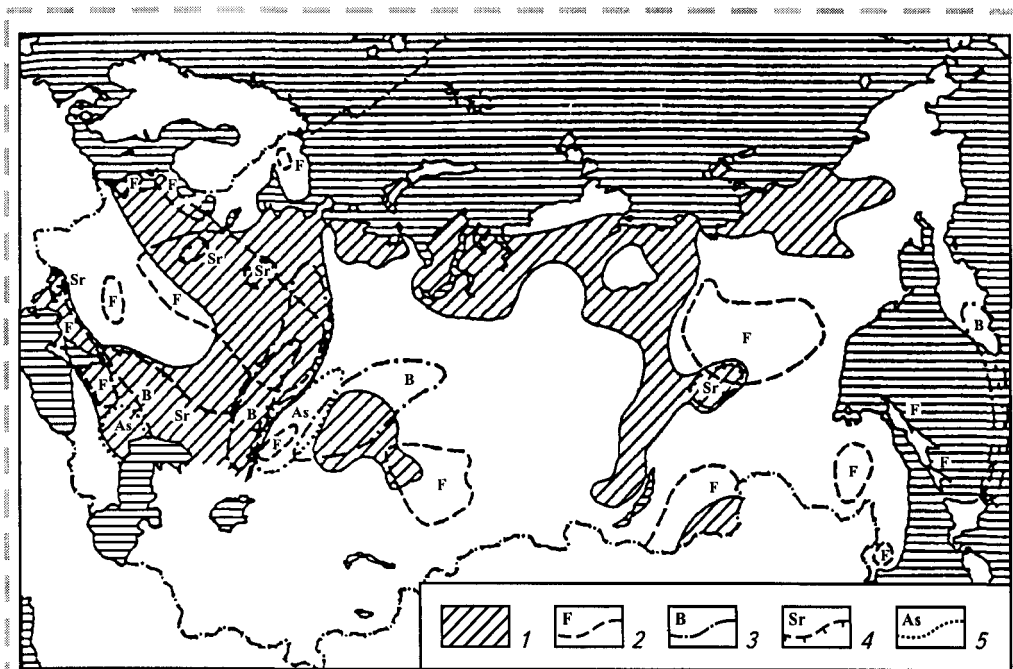


Рис. 26. Гидрогеохимические провинции подземных вод с повышенными содержаниями SO_4^{2-} и Cl (1), F (2), B (3), Sr (4), As (5) на территории бывшего СССР (по С.Р.Крайнову, В.П.Закутину, 1994). Республики Средней Азии и Кавказа не показаны

ленные ими гидрогеохимические провинции можно рассматривать как своеобразные патогенные гидрогеохимические аномалии.

Роль подземных питьевых вод в формировании экологического состояния среды значительна, так как именно состав подземных вод как компонентов литосферы, используемых для питьевого назначения, непосредственным образом влияет на физиологические функции человека и его здоровье.

В пределах патогенных гидрогеохимических аномалий состав подземных вод обогащен одним или несколькими элементами. Наиболее часто выводят подземные воды из разряда кондиционных повышенные содержания соединений азота, марганца, железа, стронция, селена, мышьяка, фтора, бериллия, органические вещества (углеводороды и их различные производные). На рис. 26 и 27 показано распространение подземных вод с повышенным содержанием элементов на территории бывшего СССР.

* Гидрогеохимическая провинция - это территория, объединяющая комплекс водоносных горизонтов, артезианских бассейнов или гидрогеологических массивов, подземные воды которых имеют повышенные концентрации нормируемых химических элементов и веществ. Для таких провинций характерны по С.Р.Крайнову: а) высокий уровень фоновых концентраций нормируемых химических элементов (веществ), приближающийся к ПДК или превышающий его; б) высокая частота встречаемости (>50%) в подземных водах их концентраций, превышающих ПДК.

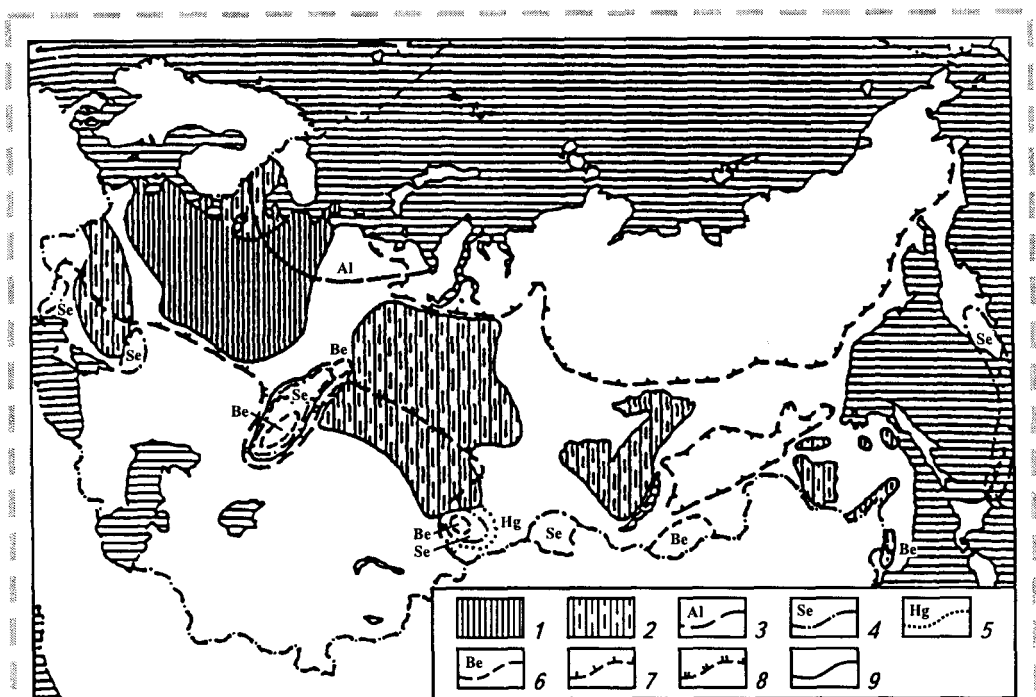


Рис. 27. Гидрогеохимические провинции подземных вод с повышенными содержаниями Fe, Mn, Al, Se, Hg, Be на территории бывшего СССР (по С.Р.Крайнову, В.П.Закутину, 1994). Республики Средней Азии и Кавказа не показаны

Гидрогеохимические провинции подземных вод с повышенными (относительно ПДК) концентрациями: 1 – Fe; 2 – Fe, Mn; 3 – Al; 4 – Se; 5 – Hg; 6 – Be; 7 – область подземных вод многолетнемерзлых пород с повышенными содержаниями Fe; 8 – граница гумидной зоны с повышенными содержаниями Fe в грунтовых водах; 9 – зона высоких содержаний Fe в грунтовых водах Южного Урала

К важнейшим естественно-геохимическим процессам, приводящим к формированию гидрогеохимических аномалий, относятся: увеличение минерализации подземных вод; изменение соотношений между концентрациями компонентов, лимитирующих распределения нормируемых химических элементов; изменение Eh-pH подземных вод; увеличение концентраций компонентов, являющихся лигандами для элементов комплексобразователей. Первый из этих процессов - увеличение минерализации верхних водоносных горизонтов - может происходить за счет двух естественных геохимических процессов: испарительного концентрирования грунтовых вод (что в целом характерно для аридной зоны); растворения и диффузного рассоления минералов галогенных формаций и первичных седиментационных рассолов. Увеличение минерализации подземных вод осуществляется вследствие появления в них хорошо растворимых хлоридных и сульфатных соединений натрия и кальция. Вследствие этого формируются сульфатные и хлоридные гидрогеохимические аномалии: Западно-Сибирская, Прикаспийская, Южно-Забайкальская (см. рис. 26). Но гораздо более широко распространены на территории России напорные сульфатные и хлоридные подземные воды.

В большинстве артезианских бассейнов вертикальная геохимическая зональность подземных вод обусловлена сменой маломинерализованных подземных вод на все более минерализованные, залегающие на различных глубинах, и сменой геохимических типов подземных вод от $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ к $\text{SO}_4\text{-Ca}$ до Cl-Na . В Восточно-Европейской, Западно-Сибирской, Восточно-Сибирской провинциях нижележащие сульфатные и хлоридные минерализованные воды самым непосредственным образом влияют на формирование химического состава верхних водоносных горизонтов. В результате увеличиваются концентрации нормируемых элементов, имеющих высокую растворимость своих соединений с катионами и анионами этих вод. К таким элементам в частности относится стронций. Однако его распределение в подземных водах существенно зависит и от его содержания во вмещающих породах. Поэтому гидрохимические стронциевые провинции тяготеют, как правило, только к определенным структурам внутри сульфатных и хлоридных провинций.

Изменение соотношений между натрием и кальцием в подземных водах также играет важную роль в формировании состава вод питьевого назначения. Натриевые соединения многих анионов (F , BO_3^{3-} , AsO_4^{3-} и др.) имеют хорошую растворимость, а их кальциевые соединения чаще труднорастворимые. Соответственно натриевые геохимические зоны подземных вод всегда оказываются благоприятными для накопления в них F , B , As и других анионогенных элементов. Классическим примером в этом отношении является фтор, образующий обширные гидрогеохимические провинции с высоким его содержанием в подземных водах.

Содержание фтора в маломинерализованных подземных водах лимитируется произведением растворимости CaF_2 , поэтому уменьшение концентрации в подземных водах кальция и рост отношения Na/Ca всегда приводит к увеличению в них концентрации фтора. Проблема источника фтора в данном случае не имеет значения, поскольку кларковые концентрации фтора составляют 660 мг/кг, что вполне достаточно, чтобы обеспечить в подземных водах содержания фтора, превышающие ПДК. Подземные воды с минимальными содержаниями кальция и высокими отношениями Na/Ca закономерно и широко распространены в гидрогеологических структурах земной коры России, и поэтому гидрогеохимические провинции фтороносных вод в ней соответственно широко представлены. Примерами фтороносных провинций на территории России являются Московско-Волго-Камская, Западно-Предкавказская, Кулундинская, Якутская, а за пределами России - Молдавская, Днепровско-Донецкая, Причерноморская, Прибалтийская (см. рис. 26).

В последние годы на территории России установлены гидрогеохимические провинции **пластовых** и трещинно-жильных вод с высокими содержаниями мышьяка и бора. Их происхождение преимущественно обусловлено сочетанием двух факторов: формированием подземных вод натриевого состава; повышенными содержаниями мышьяка и бора во вмещающих породах. Наиболее типичным в этом отношении можно считать Восточно-Предкавказскую гидрогеохимическую провинцию. Высокие (превышающие ПДК) содержания мышьяка и бора в этой провинции приурочены к относительно маломинерализованным (менее 3,0 г/л) плас-

товым водам $\text{HCO}_3\text{-Na}$ и $\text{HCO}_3\text{-CO}_2\text{-Na}$ состава третичных водоносных горизонтов. Имеются и чисто бороносные гидрогеохимические провинции - Предуральская и Зауральская, где их формирование идет преимущественно в пределах бороносных геохимических зон.

При формировании состава околонейтральных подземных вод велика также роль окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Оптимальные для водоснабжения кислородсодержащие подземные воды имеют Eh в пределах 350-500 мВ. Данная величина Eh определяет невозможность увеличения в них концентраций железа, марганца, аммония, фосфора, а также многих токсичных соединений тяжелых металлов с неокисленными органическими веществами (метилированная ртуть, свинец, мышьяк и др).

Уменьшение Eh подземных вод ведет к формированию гидрогеохимических аномалий. Типичными в этом отношении являются Среднерусская, Западно-Сибирская, Ангаро-Ленская провинции, объединяющие систему крупных артезианских бассейнов, а систему малых артезианских бассейнов объединяют Дальневосточная и Забайкальская гидрогеохимические провинции (см. рис. 27). Кроме артезианских бассейнов, гидрогеохимические аномалии с повышенными содержаниями Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ приурочены к массивам, сложенным кристаллическими интрузивными, эффузивными и песчано-сланцевыми породами. Классическими в этом отношении являются гидрогеологические массивы Карелии, Урала, многих регионов Сибири и Дальнего Востока (см. рис. 26).

Особые гидрогеохимические аномалии железо- и марганецсодержащих вод занимают практически всю зону постоянной многолетней мерзлоты, так как межмерзлотные и подмерзлотные напорные воды, лишенные кислорода, имеют низкие значения Eh. В них железо и марганец содержатся в концентрациях, значительно превышающих ПДК.

При возрастании окислительно-восстановительного потенциала увеличиваются концентрации других переменного-валентных компонентов: цинка, меди, свинца, селена, кадмия. Первые три элемента из этой группы являются типоморфными для подземных вод районов сульфидных месторождений. Однако их ПДК высокие, и для питьевого водоснабжения они редко представляют опасность. В грунтовых и напорных водах, имеющих высокие значения Eh (свыше +200 мВ), наиболее опасен селен, так как данные воды предрасположены к его накоплению. Селеновые гидрогеохимические аномалии, связанные с возрастанием Eh, имеют место только в районах развития обогащенных селеном пород или селенсодержащих минералов в селеновых металлогенических зонах. На территории России сейчас выделяются Уральская, Тувинская и Алтайская гидрогеохимические провинции с высоким содержанием селена в грунтовых и напорных водах. В сопредельных государствах классическими селеновыми гидрогеохимическими провинциями являются Донецкая, Среднеазиатская и Молдавская (см. рис. 27).

Среди естественных геохимических процессов, приводящих к формированию особых гидрогеохимических провинций, велика роль процессов комплексо-

образования между органическими и неорганическими веществами. К важнейшим лигандам (молекулам и ионам, связанным с центральным ионом в комплексные соединения), оказывающим влияние на распределение Fe, Hg, Be в околонейтральных водах, относятся фульво- и гуминовые кислоты, а также фтор. Благодаря образованию анионов-лигандов и росту их концентраций в подземных водах, происходит интенсификация растворимости твердой фазы и более активное поступление в водную среду Fe^{3+} , Fe^{2+} , Hg^{2+} , Be^{2+} . Элементы-гидролизаты при образовании устойчивых комплексных соединений труднее подвергаются гидролизу и не осаждаются из околонейтральных подземных вод, а проявляют способность концентрироваться в этих водах при увеличении концентраций анионов-комплексобразователей. Благодаря этому, например, концентрация Fe^{3+} воколонейтральных кислородсодержащих подземных водах, содержащих фульвокислоты в количестве 5-10 мг/л, намного превышает его ПДК в питьевых водах. Вследствие этого, гидрогеохимические аномалии грунтовых железосодержащих подземных вод занимают практически всю гумидную зону России с максимальным проявлением в Мещере, Карелии, Архангельской области и смежных ей областях Севера европейской части России.

Близкий механизм - образование ртутных и бериллиевых гидрогеохимических аномалий. Однако для природных условий, при относительно низких их кларковых содержаниях, обязательным условием является наличие металлогенических зон, характеризующихся ртутной рудной минерализацией и общей обогащенностью ею пород. Типичной в этом отношении является Алтайская гидрогеохимическая провинция грунтовых вод с повышенным содержанием ртути. Классическими примерами бериллиевых гидрогеохимических зон является Уральская, Рудно-Алтайская, Забайкальская, Приморская. Специфика формирования гидрогеохимических провинций, имеющих бериллиевую минерализацию, состоит в том, что она сопровождается флюоритовой минерализацией и подземные воды таких металлогенических зон всегда содержат высокие концентрации фтора. Фтор является прекрасным лигандом для бериллия, удерживает его от процесса гидролиза и способствует накоплению в подземных водах. Вследствие этого, гидрогеохимические провинции бериллийсодержащих подземных вод выходят за пределы гумидной зоны и распространяются и на аридную зону.

В районах развития рудных месторождений тип оруденения обуславливает элементный состав подземных вод. В соответствии с этим именно от состава основных ассоциаций типоморфных микроэлементов зависят экстремальные эколого-геохимические условия существования биоты в этих районах.

Таким образом, гидрогеохимические провинции - продукт как зональных, так и региональных (структурно-литологических) факторов. Они могут быть установлены не только на основании экспериментальных исследований, но и прогнозируемы, исходя из гидрогеохимической зональности отдельных структур, горизонтов и знания современной геохимии элементов в подземных водах. Согласно работам С.Р.Крайнова и В.М.Швеца (1992), вероятно существование высоких концентраций селена во многих районах распространения $\text{HCO}_3(\text{SO}_4)\text{-Na}$ подземных вод.

Это означает, что селен, подобно фтору и железу, может вполне дополнить список элементов, осложняющих санитарно-токсикологическую и медико-биологическую ситуацию значительной части Российских регионов.

Атмогеохимические аномалии

Природные атмогеохимические аномалии обусловлены геолого-структурными особенностями литосферы, обуславливающими ее проницаемость. Растворенные во внешнем ядре газы выходят на поверхность Земли преимущественно в рифтовых зонах - грандиозных расколах литосферы, сливающихся в единую мировую систему и образующих патогенные атмогеохимические зоны. В них потоки флюидов по интенсивности на два порядка превосходят, по В.Л.Сывороткину (1998), потоки в других геоструктурных зонах.

Выделение эндогенных газов в эколого-геохимическом аспекте приводит к изменению почвенной и приземной атмосферы с образованием атмогеохимических ореолов. Представлены они многокомпонентной смесью из углекислого газа, водорода, метана, алканов, алкенов, аргона, гелия, ртути, летучих соединений тяжелых металлов, сернистых и различных углеводородных соединений, предельно-ароматических углеводородов, бензапиренов и цианидов, подчас в весьма заметных концентрациях. Из всех радионуклидов изотопы радона и продукты их радиоактивного распада наиболее опасны для здоровья людей в связи с их практически беспрепятственным проникновением внутрь организма через дыхательные пути и накоплением во всех жизненно важных центрах.

Изменениями газового состава приземной атмосферы можно объяснить повышенную заболеваемость "пришлого населения", например, в Памирской, Курило-Камчатско-Сахалинской атмогеохимических провинциях. Атмогеохимические аномалии регистрируются и в районах развития локальных проницаемых зон. Они, например, установлены в ряде районов Москвы, Санкт-Петербурга др. Эманиационные, в том числе радоновые, атмогеохимические аномалии известны в районе ордовикского глинта в пределах Северо-Запада России, создающие, по В.А.Руднику, условия биологического дискомфорта для жителей Гатчины, Красного Села, Копорья, Пушкино.

Наиболее наглядными индикаторами патогенного влияния зон повышенной проницаемости - зон разломов и подземных водотоков, являются растения и, в первую очередь, древесные формы, развивающиеся на одном и том же месте десятки лет. В районах, имеющих мощный чехол рыхлых отложений, многие зоны разломов отчетливо выделяются на аэровысотных и космических снимках в виде протяженных полос, отражающих смену состава и интенсивности растительного покрова.

Опасность атмогеохимических ореолов заключается не только в прямом воздействии на человека, но и в проникновении подобных газов и металлосодержащих газообразных флюидов и металлоорганических соединений в подземные воды, растительный покров, в микробиологическую составляющую почв и почвообразующих пород. По данным В.В.Виноградова (1997), в зоне активного разлома (Карелия) за 24 ч с площади потока около 10 см^2 содержание свинца составило порядка 12 мкг, а алюминия до 250 мкг. По тектоническим нарушениям с парогазовыми

глубинными потоками на поверхность поступают не только уже известные глубинные газы, но и ионные парообразные формы практически всех элементов, обладающих еще более проникающим действием и легче усвояемых организмом, чем обычные аэрозоли. Значительное количество частиц с радиусом менее микрона, попадая в легкие, остаются в них. При этом многие вещества, безвредные в аэрозольном состоянии, становятся чрезвычайно опасными.

Биогеохимические провинции и аномалии

Изначально вопросы биогеохимии растений изучались в геологии в связи с использованием представителей растительного мира в качестве биоиндикаторов при поиске и разведке полезных ископаемых. Прекрасно зарекомендовавший себя метод был взят на вооружение основателями геохимической экологии и успешно использован для целей выявления биогеохимических аномалий, так как состояние биоты является индикатором экологического благополучия территории вследствие миграции элементов в системе "горные породы-подземные воды-газы-почва-биота".

Исследованиями Н.А.Власюка, В.В.Ковальского, Я.В.Пейве, М.Я.Школьника и других авторов установлено, что поглощение химических элементов растениями и факторы формирования химического состава растений при нормальном (фоновом) и аномальном их содержании в питающей минеральной среде существенно различны. Так, для районов развития интенсивных аномалий (например, рудных) М.А.Глазовской (1993) выделяются четыре основных фактора, под влиянием которых содержание химических элементов варьирует в сотни и даже тысячи раз:

содержание элементов во внешней среде (порода, подземные воды, почва);

формы нахождения элементов в питающей среде, определяющие их доступность растениями;

наличие или отсутствие у различных видов, органов, частей органов растений барьеров (порогов) поглощения элементов при высоких содержаниях их в питающей среде;

степень контакта корней растений с локальными источниками изучаемого элемента во внешней среде.

Считается, что ландшафтно-геохимические условия произрастания растений, влияние видовой специализации, фаз вегетации, климатических и погодных условий и другие факторы - менее значительны и определяют пределы колебания содержаний отдельных элементов не более, чем в 10 раз. В целом перечисленные факторы имеют существенное значение для всех типов аномалий, где концентрации химических элементов в компонентах литосферы сопоставимы или превышают их содержания в рудных зонах*.

* В фоновых ландшафтах с относительно низкими содержаниями элементов в питающей минерально-органогенной среде дифференцированную роль приобретают ландшафтно-геохимические условия миграции элементов: щелочно-кислотная и окислительно-восстановительная обстановка, степень минерализации и состав вод и связанная с ними биогеохимическая специализация растений по видам, родам и семействам. Оба эти фактора контролируются геохимией элементов, их способностью мигрировать в определенных ландшафтно-геохимических условиях.

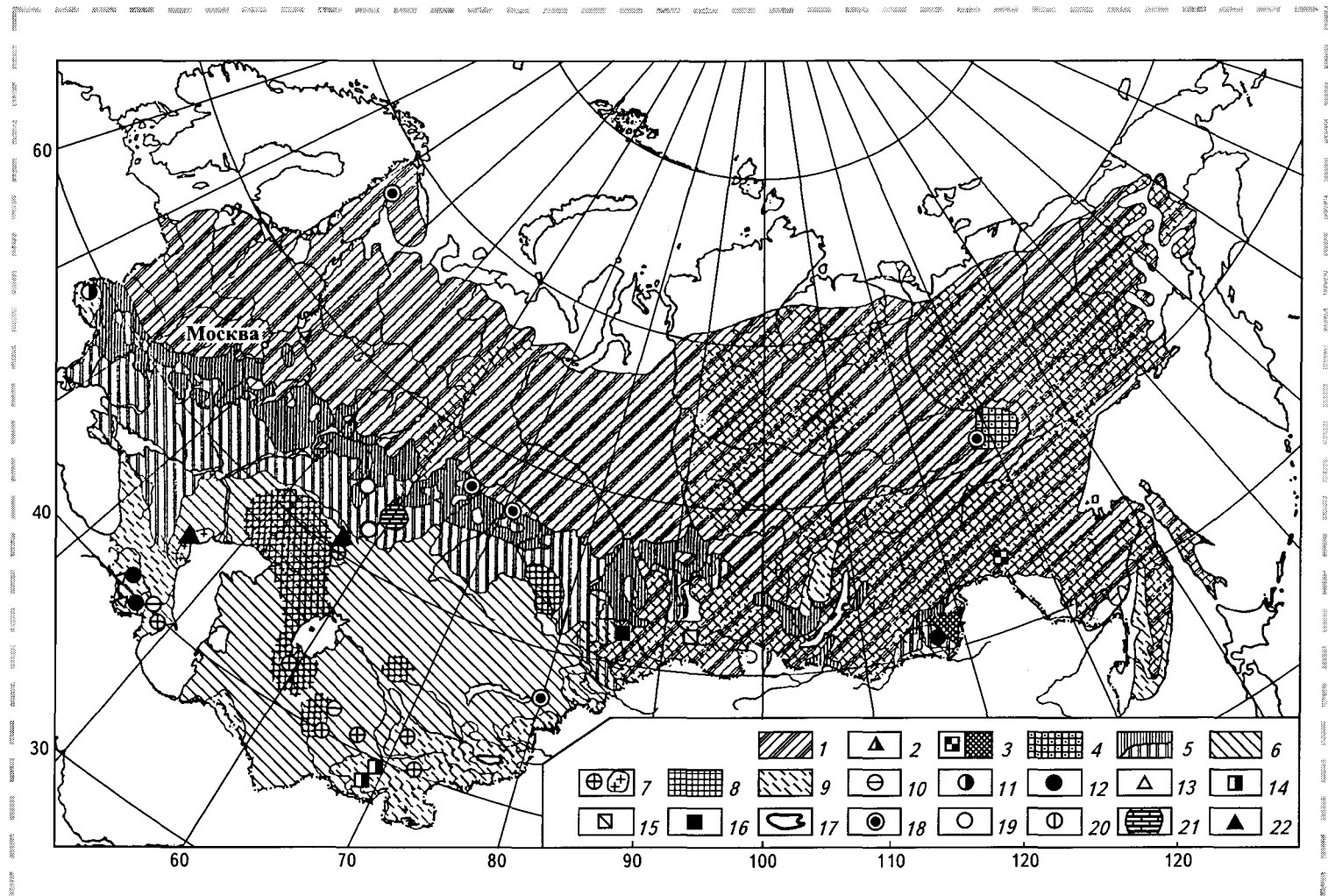


Рис. 28. Схематическая карта биогеохимического районирования СССР (по В.В.Ковальскому, 1982)

1 — биогеохимические зоны (регионы биосферы) и зональные субрегионы биосферы): 1-4 — таежно-лесной нечерноземной зоны: 1 — бедные кобальтом, медью, йодом, бедные медью и кобальтом, бедные кальцием и фосфором, 2 — бедные йодом и кобальтом, 3 — обогащенные стронцием, бедные кальцием, 4 — с нормальным содержанием меди и кобальта, а также обогащенные бором и стронцием на мерзлотных почвах (азональные); 5 — лесостепной и степной черноземной зоны (на серых лесных и пойменных почвах встречаются провинции бедные йодом); 6-8 — сухостепной, полупустынной, пустынной зоны: 6 — с избыточным содержанием фтора и никеля, 7 — с относительно недостаточным содержанием меди, избыточным — молибдена и сульфатов, 8 — богатые бором (встречаются провинции бедные йодом); 9 — горных зон (встречаются бедные кобальтом, бедные медью, бедные кальцием; распространены провинции бедные йодом). Азональные провинции (азональные субрегионы биосферы): 10 — богатые кобальтом; 11 — бедные йодом и марганцем; 12 — богатые свинцом; 13 — богатые молибденом; 14 — богатые стронцием и кальцием; 15 — обогащенные селеном; 16 — с нарушенным соотношением меди, молибдена, свинца; 17 — обогащенные ураном; 18 — с избытком фтора; 19 — обогащенные медью; 20 — с нарушенным обменом меди; 21 — богатые никелем, марганцем, стронцием, бедные кобальтом, марганцем; 22 — богатые никелем.

Как отмечалось ранее, недостаток, избыток, дисбаланс химических элементов в компонентах литосферы приводит к заболеваниям животных, растений, человека, именуемым в биогеохимии "биогеохимическими эндемиями", которые по существу являются индикатором негативного воздействия геохимической составляющей литосферы на развитие биоты. Районы их распространения, по А.П.Виноградову (1938), именуются биогеохимическими провинциями (биогеохимические провинции — области на Земле, отличающиеся от соседних по уровню содержания в них химических элементов и вследствие этого вызывающие различную биологическую реакцию со стороны местных флоры и фауны; в крайних случаях в результате резкой недостаточности или избыточности содержания какого-либо химического элемента (или элементов) в пределах данных биогеохимических провинций возникают биогеохимические эндемии — заболевания растений и животных).

Базируясь на идеях биогеохимической гетерогенности и зональности континентов, В.В.Ковальский (1982) выделил регионы биосферы — биогеохимические почвенно-климатические зоны, в пределах которых зональные признаки разнообразия среды и организмов ограничены по сравнению с экологической системой целой биосферы. Было выделено три равнинных региона: таежно-лесной нечерноземный; лесостепной и степной черноземный; сухостепной полупустынный и пустынный. Все горные территории были объединены в четвертую группу (рис. 28). В их пределах обособлены субрегионы биосферы — зональные биогеохимические провинции, в которых комбинируются признаки зон по концентрациям, соотношениям химических элементов и биологическим реакциям, и азональные признаки, которые не соответствуют характеристике зон и образуются над рудными телами при рассеянии в них химических элементов, в бессточных бассейнах, в районах вулканизма. В качестве зональных биогеохимических провинций

можно привести провинции Нечерноземья, связанные с недостатком йода, кобальта, меди, часто кальция, с избытком марганца, железа, что обусловлено подвижностью форм кальция, меди, кобальта, йода и других химических элементов в подзолах. Провинции данного типа и эндемии не встречаются в зоне черноземов.

Так называемые аazonальные, или интерзональные, биогеохимические провинции, характерны для территорий образования природных ореолов рассеивания различных химических элементов. В их пределах развиваются природные биогеохимические аномалии. Они связаны преимущественно с избытком в среде и организмах одного химического элемента или их ассоциаций.

Подчеркнем, что биогеохимическое районирование территории России и сопредельных государств, выполненное в Биогеохимической лаборатории АН СССР под руководством В.В.Ковальского, очень информативно, так как базируется на обширных данных по биогеохимии и дифференцированному анализу патологических состояний организмов. Оно, по существу, создает базу для эколого-геологических оценок.

Для современного этапа исследований биогеохимических провинций характерен, как показал В.В.Ермаков, экологический подход. По биогеохимическим критериям оценивается экологическое состояние территории биогеохимических провинций.

Таким образом, специалистами различных естественно-научных школ четко зафиксированы связи в системах "горные породы-биота", "подземные воды-биота", "почвы-биота", "атмогеохимические аномалии-биота". Назрела необходимость на основании данных о патогенных геохимических аномалиях выделять патогенные экосистемы геохимической специализации (литогеохимического, гидрогеохимического, атмогеохимического либо смешенного типов) с указанием приоритетных токсикантов и характерных реакций биоты.

7.3. Техногенные геохимические поля и аномалии

Литогеохимические поля и аномалии

Техногенные геохимические поля и аномалии, в том числе и литогеохимические, формируются в результате активной хозяйственной деятельности человека (химические, металлургические предприятия, разработка месторождений полезных ископаемых, транспортные магистрали, сельскохозяйственные районы и др.) или вследствие техногенных катастроф (Чернобыльская АЭС, Челябинский комбинат). Верхняя часть литосферы - почвы, горные породы, донные осадки - играет роль аккумулятора, трансформатора техногенного загрязнения.

Существует несколько подходов к оценке величины техногенной нагрузки, испытываемой природной средой. Например, М.А.Глазовской, Н.С.Касимовым, Т.А.Теплицкой, И.А.Авессаломовой и др. (1995) для сравнения различных продуктов производства по геохимическому воздействию на окружающую среду предлагается использовать суммарный коэффициент ноосферной концентрации C_n

$$C_n = \frac{C_1}{N_{n1}} + \frac{C_2}{N_{n2}} + \dots + \frac{C_i}{N_{ni}},$$

где C - содержание компонентов в данном продукте; N_n - кларки соответствующих компонентов в ноосфере (биосфере); i - число аномальных элементов.

Наиболее высокий C_n характерен для угля. Именно при использовании угля в ландшафты поступает избыточное количество по крайней мере 25 элементов, в том числе углерода, тяжелых металлов, урана. Значительно ниже C_n для других видов горючих ископаемых - нефти и газа, хотя с ними поступает избыточное количество C, N, S, J, Cd, а из инертных газов - He, Ar.

Для характеристики территориальных особенностей геохимического техногенного воздействия этими же авторами предложено использовать региональный суммарный коэффициент ноосферной концентрации - C_n^s .

$$C_n^s = D_1 C_{n1} + D_2 C_{n2} + \dots + D_k C_{nk},$$

где D - техногенное давление различных продуктов на изучаемой территории, k - число аномальных элементов.

Схема дифференциации территории бывшего СССР по этому показателю приведена на рис. 29.

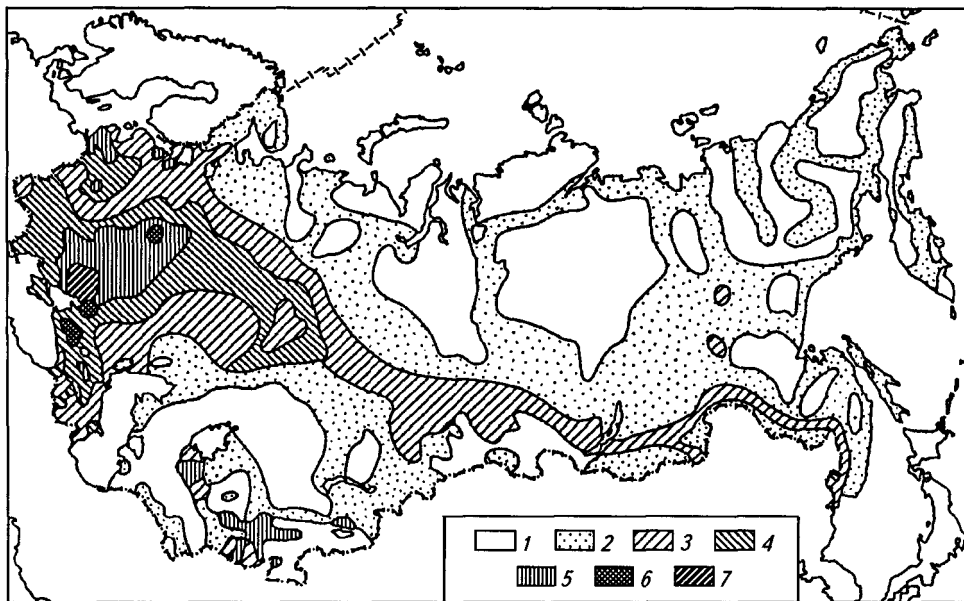


Рис. 29. Схема распределения техногенного геохимического воздействия
(по М.А.Глазовской и др., 1995)

1-7 - модуль регионального суммарного коэффициента ноосферной концентрации, $n \cdot 10^4$:
1 - меньше 1; 2 - 1-5; 3 - 5-10; 4 - 10-25; 5 - 25-50; 6 - 50-100; 7 - больше 100

Различия техногенных воздействий реально проявляются в региональном геохимическом фоне содержания микроэлементов *в почвах и подстилающих горных породах*. Ф.Я.Сапрыкиным (1984) были рассчитаны коэффициенты ноосферной концентрации Си, Со, Мо, Zn в почвах для территории Черноземной и Нечерноземной зон. Согласно полученным данным, в Донецкой области, где наиболее высокие значения $C_{\text{н}}$, кларки ноосферной концентрации микроэлементов также имеют самые высокие значения. В других областях Черноземной зоны, где значения $C_{\text{н}}$ в пять и более раз ниже, содержание рассматриваемых микроэлементов уменьшается. В Нечерноземной зоне выделяется повышенным содержанием микроэлементов Московская область, где и значения $C_{\text{н}}$ для данной зоны самые высокие. Наиболее низкие значения $C_{\text{н}}$ в европейской части России имеют Поволжский (Ярославская, Костромская области) и Северо-Западный (Ленинградская область и Карелия) экономические районы. Эти области выделяются и самыми низкими кларками ноосферной концентрации элементов в почвах.

Другой подход оценки литогеохимических полей и аномалий нашел отражение при выполнении многоцелевого геохимического картирования, реализованного в виде атласа геолого-геохимических и эколого-геологических карт масштаба 1:5 000 000 (Э.К.Буренков, М.В.Кочетков и др., 1994-1997). Авторским коллективом создано 12 базовых карт и проведено районирование территории России по степени напряженности экологической обстановки с выделением природно-хозяйственных систем в ранге провинций: Кольская горно-тундрово-таежная горнорудно-металлургическая; Западно-Сибирская таежно-болотно-мерзлотная нефтегазопромышленная; Центрально-Черноземная степная промышленно-хозяйственная и др.

На локальном уровне объективная картина формирования техногенных геохимических аномалий фиксируется данными натурных исследований в почвах, донных осадках, горных породах. Такие наблюдения выполняются во всевозрастающих объемах в районах действия различных по функциональной направленности техногенных объектов.

В последнее время широкие комплексные работы по оценке геохимической ситуации были выполнены в районах развития крупных городских агломераций. Техногенные ореолы в почвах и горных породах фиксируют интенсивное загрязнение в течение последних 20-50 лет. Минимальное время формирования контрастных педогеохимических аномалий зависит от типа воздействия и составляет в среднем 5-10 лет. Однако для таких элементов, как мышьяк, цинк, это может быть и 1-2 года. Ореолы в почвах более статичны, чем в воздухе, снеге и растениях, так как они способны аккумулировать поллютанты в течение всего периода техногенного воздействия.

* В их число вошли карты: ландшафтная эколого-геохимическая, геохимических аномалий, геохимической специализации структурно-формационных комплексов, эколого-гидрогеологическая, эколого-гидрогеологическая, источников техногенного загрязнения, эколого-радиологическая и оценки экологического состояния геологической среды.

Практически повсеместно фиксируется, что загрязнение почв макро- и микро-элементами приводит к трансформации почвенно-геохимической структуры территории. По данным **Н.С.Касимова (1995)**, резко возрастает радиальная геохимическая дифференциация почвенного профиля вследствие накопления поллютантов в верхней части профиля; в черноземах равномерное распределение металлов сменяется поверхностно-аккумулятивным.

Наиболее высокие уровни суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами (Z_c от 120 до 1000) установлены для городов с развитой цветной и черной металлургией (Чимкент, Усть-Каменогорск, Мончегорск, Белово, Магнитогорск и др.), где в эпицентрах аномалий содержания металлов в десятки раз выше ПДК. Почвы вокруг перерабатывающих заводов загрязнены углеводами, сероводородом, серой, вокруг машиностроительных и химических предприятий - свинцом, медью,

Таблица 47

Аномалии бора в почвах и растениях, связанные с искусственным заражением местности (по А.А.Беусу и др., 1976)

Компонент ландшафта	Среднее содержание, млн ⁻¹		Коэффициент концентрации
	Фоновое	Аномальное	
Почва:			
горизонт А	50,0	600,0	12
горизонт В	50,0	300,0	6
горизонт ВС	> 50,0	470,0	9
Роза самаркандская	71,0	1770,0	25
Полынь персидская	73,0	1320,0	18
Ферула	45,0	850,0	21

Таблица 48

Содержание цинка и кадмия в почвах в районах предприятий цветной металлургии, млн⁻¹ (по А.А.Беусу и др., 1976)

Место отбора проб	Zn	Cd
Ист Хелен (шт.Монтана, США)*		
Расстояние от завода, км:		
1,8	1090; 990; 210	68; 30; 3
3,6	238; 175; 84	17; 7; 2
7,2	48; 30; 33	4; 2; 1
Апака (Япония)**		
Расстояние от завода 0,9 км	1674; 1584; 1312	51; 44; 32

*Содержание Zn и Cd соответствует глубине отбора проб 0-2,5; 5-10; 15-25 см.

**То же – глубине 0-2; 5; 10 см.

хромом, железом, кобальтом - хромом. В районах действия обогатительных фабрик и металлургических заводов наблюдается образование поясов с повышенными содержаниями микроэлементов в почвах и растениях (табл. 47 и 48).

В отходах промышленности количество высокотоксичных элементов значительно превышает их природные концентрации. Так, с отходами предприятий химической и машиностроительной промышленности в почву и подстилающие их горные породы поступает большое количество кобальта и молибдена, а в районах

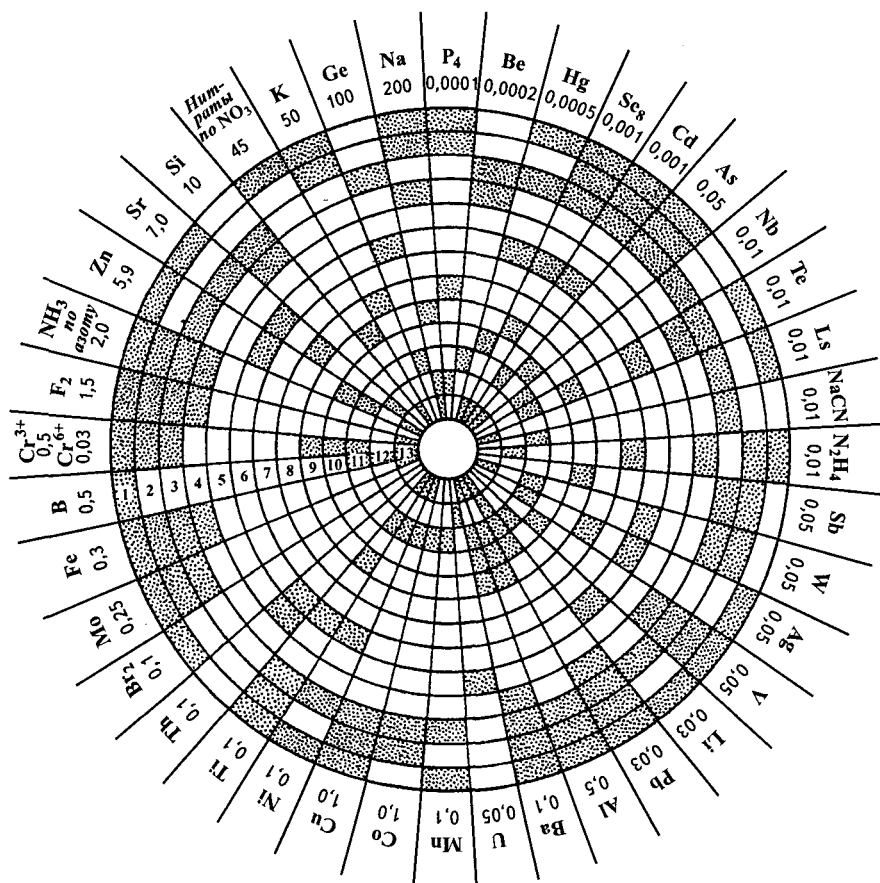


Рис. 30. Диаграмма-определитель загрязняющих веществ, сопутствующих определенным типам промышленных предприятий (по А.А.Беусу и др., 1976)

Штриховкой показано присутствие данного загрязняющего вещества в отходах определенной промышленности (цифры – ПДК, мг/л). Номера колец – отрасли промышленности: 1 – химическая, химико-фармацевтическая, пластмасс, ядохимикатов, коксохимическая; 2 – лакокрасочная; 3 – металлургическая; 4 – нефтеперерабатывающая, нефтехимическая; 5 – атомная; 6 – электротехническая, радиотехническая, приборостроительная; 7 – гальваническая; 8 – пищевая; 9 – резинотехническая, синтетического каучука; 10 – деревообрабатывающая, бумажная, спичечная; 11 – машиностроительная, авиационная, автомобильная; 12 – фотоматериалов; 13 – текстильная

отстойников текстильной промышленности в приповерхностном слое концентрируется марганец, цинк, никель. На диаграмме (рис. 30) показаны загрязняющие вещества, типичные для различных отраслей промышленности.

Как правило, техногенные литогеохимические поля и аномалии вокруг городов определяются промышленной ориентацией города. Так, по данным биогеохимической индикации для района Братска, характеризующегося развитием производства алюминия и лесохимии, типоморфными элементами являются цинк и свинец, а для Тольятти, в котором высоко развито автомобилестроение, производство азотных и фосфорных удобрений, теплоэнергетика, типичными поллютантами, по данным Н.С.Касимова (1995), являются хром, никель, свинец, медь.

Достаточно типичным для городских почв, а нередко и почвообразующих пород, является их ожелезнение и карбонатизация. Вследствие карбонатизации почв увеличивается их щелочность, идет насыщение поглощенного комплекса основаниями, многие металлы связываются в труднорастворимые формы. При значительном поступлении карбонатной пыли в кислые и нейтральные почвы происходит изменение класса водной миграции ландшафта.

В лесной и лесостепной зонах кислые, кислые глеевые, нейтральные и нейтрально-глеевые классы трансформируются в кальциевые и кальциевые глеевые классы водной миграции. Щелочная техногенная трансформация городских почв ведет к изменению их буферности, увеличению поглотительной способности, уменьшению возможности выноса и миграционной способности многих поллютантов и, прежде всего тяжелых металлов.

Сателлитами любого промышленно-городского хозяйства являются хранилища отходов: бытовых, строительных, специфических производственных, являющихся источниками пыли, техногенных газов и токсичных стоков. Состав токсичных стоков зависит от вида хранящихся отходов. Если в хранилищах промышленных отходов просачивающиеся воды содержат те же вещества, что и сами отходы, то из хранилищ бытового мусора в первую очередь вымываются продукты брожения, гниения.

Особую опасность представляют хранилища смешанного типа. В массе таких отходов происходит взаимодействие между веществами, образовавшимися при анаэробном брожении, и токсичными веществами из промышленных отходов, что может привести к растворению последних, например, в результате комплексообразования.

Практически повсеместное развитие на территории России имеют геохимические аномалии, связанные с сельскохозяйственным производством. Ежегодно в сельскохозяйственные ландшафты вносится до 600 кг/га элементов в минеральной форме. Среди веществ, постоянно вносимых в приповерхностную часть литосферы, преобладают соединения бора, марганца, молибдена, меди. Особенно интенсивное поступление элементов происходит с фосфатными удобрениями, в которых, помимо кадмия, содержится большое количество и других микроэлементов, мг/кг: As - 2-1200; B - 5-120; Si - 1-300; Pb - 7-255; Hg - 0,01-1,2; Zn - 50-1450. В некоторых калийных удобрениях содержание калия достигает 500 мг/кг,

тогда как в почвах оно составляет обычно около 1 мг/кг; иногда в этих удобрениях регистрируются повышенные количества изотопа калия.

В случае невысокого внесения удобрений (менее 90-100 кг/га) формирование природно-техногенных нитратных аномалий сдерживается процессом денитрификации. При превышении данного критического порога процессы денитрификации отстают от темпов роста техногенного загрязнения NO_3 , и это приводит к формированию природно-техногенных нитратных геохимических аномалий.

Большую долю в общем техногенном воздействии в сельскохозяйственных районах, особенно на орошаемых землях, занятых ценными культурами, составляют пестициды и дефолианты. Так, в Германии ежегодно расходуется 12 тыс. т различных пестицидов. При этом часть их попадает в почву и аккумулируется в ней на глубине до 30-40 см, а в некоторых случаях до 60 см. Из почвы они переходят в растения, а затем в организм животных. В результате скормливания ботвы сахарной свеклы с полей, обработанных препаратом 2,4Д, произошло отравление скота.

Животноводческие комплексы территориально занимают значительно меньшие площади. Они состоят из разнородных, но связанных в единое целое частей: пастбищ, выгонов, ферм, зон утилизации. Вынос элементов в литосферу идет преимущественно в биогенной, минеральной форме или в виде растворов, и как следствие, в литосферу в больших количествах поступают углерод, фосфор, азот, сера, калий, кальций, алюминий, магний.

Практически для всех техногенно-развитых территорий в аквальных ландшафтах идет формирование литогеохимических аномалий в *донных осадках*. Спецификой данных аномалий является тонкодисперсный состав осадков, их повышенная пластичность, иногда желеобразная консистенция, наличие частиц техногенного происхождения, маслянистость, специфический запах (нефтяной, сероводородный, фекальный). Техногенные илы обогащены органическим веществом, карбонатами, оксидами и гидроксидами железа и алюминия, а также повышенными количествами органических загрязняющих веществ - нефтепродуктов, ПХБ и др.

Формирование типоморфных ассоциаций элементов в донных отложениях обусловлено наличием в районе природных и техногенных литогеохимических, гидрогеохимических, аэрогенных аномалий. Так, в районах развития рудных тел и при разработке промышленных залежей состав токсикантов будет характеризоваться составом типоморфной рудной ассоциации элементов. В пределах городских агломераций типоморфные ассоциации элементов обуславливаются специализацией промышленного производства и типом поселения (табл. 49).

Речные наносы мелких фракций, обладая высокой сорбционной способностью, в процессе своего перемещения и отложения в русле реки накапливают весь комплекс химических элементов, присутствующих в воде. Концентрация загрязняющих химических элементов в наносах размером меньше 0,02 мм (глинистые и пылеватые частицы) зачастую превышает их концентрацию в речной воде в 5-10 раз.

Донные отложения вследствие своих высоких сорбционных свойств могут рассматриваться как интегральный индикатор техногенной нагрузки на реку, и их изучению следует отводить важное место в общей системе наблюдений за состоя-

Ассоциации химических элементов в донных осадках (по Ю.Е.Сагуну и др., 1990)

Тип поселения	Основные отрасли (виды) промышленности или производства	Коэффициент концентрации, К _с *				
		Более 100	100-30	30-10	10-3	3-1,5
Города с населением 100 тыс. человек	Тяжелое машиностроение, металлообработка, кабельная, аккумуляторная, строительная пищевая и др.	Hg ₃₁₇ Ag ₁₅₃	Cd ₆₀ Zn ₅₃	Cu ₂₆ Ni ₂₄ Pb ₂₂ Sn ₁₅ Sb ₁₄ Se ₁₁	V Zn Cr Nb B W Bi Sr Ba Ti	Co Be Mo Sc Yb P
	Металлообработка, химическая, текстильная, окраска тканей, электронная, строительная	Ag ₉₂₁ Hg ₃₉₈	Bi ₄₈ Zn ₄₄ Co ₃₈ Ni ₃₆ P ₃₁	Cd ₁₇ Sr ₁₄ Cr ₁₁	Sr Pb Ba Co	W Mo V Mn
Города с населением 30-100 тыс. человек	Металлообработка, машиностроение, строительная	-	Ag ₄₄	Cd ₁₂ Ce ₁₁	Zn Hg Sb Pb Sn Se	P Cu Sc Sr Zr Ti Co Bi Ni Ba
	Экскаваторный завод	-	Hg ₃₇	-	Pb Ag Sr Ba	Cu Zn Mo Mn
Города с населением до 30 тыс. человек	Коксохимический комбинат	-	-	Hg ₁₅	Zn Mo Cu Sr Ni	Ag Co Nb Sc Li
	Строительная, металлообработка	Ag ₄₅₇ Hg ₃₉₉	-	Cu ₁₇	Cd Zn Bi P Sr Cr Ni	Ba Co Pb Sc Zr Mo
Города с населением до 30 тыс. человек	Химическая, строительная	-	Ag ₇₃ Hg ₃₁	Cu ₁₇	Zn Sr Sn P Pb	Bi Cr Co Mo Ba
	Ткацкая фабрика	-	Hg ₅₃ Ag ₅₂	Bi ₁₉	Cu W Ba Pb Zn P Sn	Sr Mo Co V Cr Ni
Города с населением до 30 тыс. человек	Текстильная фабрика	-	-	Ag ₂₂ Hg ₂₁ Cu ₁₂	Zn Ba Pb	Sr Co Sn Mo Cr P
	Производство грампластинок	Hg ₅₅₃ Ag ₁₀₇	Ni ₃₅	Cd ₂₅ Sr ₂₀	Zn Pb	Sn Cr Bi
Города с населением до 30 тыс. человек	Научный центр физического направления	Ag ₁₉₈	Cd ₄₄	Hg ₁₆	Bi Cu Zn P Sn Pb	Sr Co Ni Sc Cr Ba
	Научный центр радиотехнического направления	Ag ₂₁₀	Bi ₅₆ Hg ₄₃	P ₁₄	Zn Cu Cr Sc Cd	Y Sn Ga Nb Ti Zr Yb Sr Mn Ni Co
Поселки городского типа	Производство пластмасс	-	-	Hg ₂₆	Sn Ag Sc Cr Ga P Pb Mo	Ti Co Nb Cu V Sr Ba
	Вторичная переработка цветных металлов	Hg ₁₈₀ Ag ₁₇₀	Pb ₃₄ Bi ₃₄	P ₁₁ Cu ₁₁ Zn ₁₁	Sb Sn Ba Cd	Co Cr Sr
Поселки городского типа	Кирпичный завод	-	Hg ₃₅	Ag ₂₈	Cu Ba V Co	Ni Zn P Sr Pb Cr Mn
	Переработка сельхозпродуктов	-	-	-	Ag Ba Cu P Co V	Cr Ga Pb Mo Ni
Поселки сельского типа	Сельскохозяйственное производство	-	-	-	Ag Co P Cu	V Zn Pb Ba Ga Mn Y Yb

*К_с – коэффициент концентрации относительного фоновое содержания.

нием водной среды. Они показывают среднее загрязнение за длительный промежуток, так при среднем содержании в 1 л воды 25 мг взвешенного вещества можно считать, что изучение верхних 3-5 см толщи донных отложений дает данные о загрязнении за последние 3-12 мес. Несколько лет назад выявлены "осадочные ловушки", с помощью которых точно определяется исследуемый временной промежуток. В настоящее время на Эльбе в Германии установлено восемь таких ловушек, пробы из которых берутся раз в месяц. Изучение донных отложений требует по сравнению с гидрохимическими и гидробиологическими исследованиями значительно меньших затрат, поскольку нет необходимости в организации ежегодных режимных наблюдений. Например, в Германии при проведении экологического мониторинга для выявления тенденции в изменении загрязнения реки периодичность отбора проб донных отложений составляет 3-5 лет. Результаты исследования речных донных отложений позволяют установить наиболее неблагоприятные в ЭК логическом отношении участки реки и, в конечном счете, скорректировать состав и объем мониторинга речного бассейна.

Еще одним аспектом воздействия донных осадков на экосистемы и здоровье человека является их способность становиться устойчивыми источниками загрязнения водной среды и почв. Первое пояснения не требует, а второе нуждается в комментарии.

При перенесении донных отложений на почвы, что осуществляется при проведении землечерпательных и дноуглубительных работ в акваториях портов, чистке судоходных каналов, необходимо знать абсолютный потенциал загрязняющих веществ. В основном это зависит от того, какую часть в донных отложениях составляет мелкозернистая фракция.

Гидрогеохимические аномалии

Техногенные гидрогеохимические аномалии формируют преимущественно соединения азота (в первую очередь, нитраты), алюминия, железа, марганца, бериллия, кадмия, ртути. Отдельные устойчивые загрязнители представляют собой опасность из-за накопления их в пищевых цепочках; это может привести к вредному воздействию на высоких трофических уровнях. К таким веществам относятся хлорорганические пестициды, полихлорбифенилы (ПХВ), некоторые тяжелые металлы и радионуклиды.

Так, по данным С.Р.Крайнова и др. (1994), нерациональная эксплуатация месторождений подземных вод хозяйственно-питьевого водоснабжения усиливает гидродинамические и геохимические взаимодействия водоносных горизонтов и приводит к подтягиванию менее кондиционных вод смежных водоносных горизонтов. Классическим примером в этом отношении является Молдова, где в артезианском бассейне, заполненном фтороносными подземными водами, осуществлялась нерациональная эксплуатация нижнесарматского и верхнемелового водоносных горизонтов и в итоге были сформированы техногенные гидрогеохимические аномалии, что вызвало увеличение количества населения, пораженного

флюорозом за счет избыточного накопления фтора в воде. Перемещения водных масс сопровождаются не только привнесом новых минеральных веществ, но и нарушают естественное химическое равновесие в системе вода-порода, что инициирует формирование новых геохимических типов подземных вод.

Как уже отмечалось выше, в случае избыточных внесений удобрений, естественные процессы денитрификации не успевают нивелировать техногенный привнос NO_3^- и происходит возрастающее накопление нитратов в грунтовых водах. Наиболее интенсивно данные процессы наблюдаются в южных засушливых районах, где рост концентрации нитратов в грунтовых водах происходит параллельно росту их минерализации.

Формирование нитратных гидрогеохимических аномалий - явление, характерное для развитых стран (Англия, Нидерланды, Россия, США, и др). При существующих темпах внесения удобрений скорость увеличения нитратов в таких водах составляет 0,1-6,0 мг/л в год. Это способствует росту токсичности грунтовых вод и увеличению эндемических заболеваний. Скорость вертикального движения нитратов в водоносных известняках и песчаниках составляет около 1 м/год, вследствие этого загрязнение напорных вод продуктивных горизонтов артезианских бассейнов нитратами - уже широко распространенное явление (рис. 31).

Под воздействием техногенеза региональное экологическое значение в подземных водах приобретают алюминий, железо, марганец, бериллий, ртуть, кадмий и целый ряд других технофильных элементов. Все они увеличивают свою миграционную способность в кислых подземных водах. Поэтому в случае кислых дождей, стоков полигонов твердых бытовых отходов или горно-добывающих предприятий, в подземных водах идет накопление отмеченных элементов, растет количество комплексных их соединений с органическими веществами гумусового ряда.

Помимо отмеченных соединений, не меньшие экологические проблемы создают в сельскохозяйственных регионах пестициды, а в промышленных - диоксины. Последние - кислородные соединения хлор- и бромзамещенных ароматических углеводородов (особенно бензолов и фенолов). Особенность

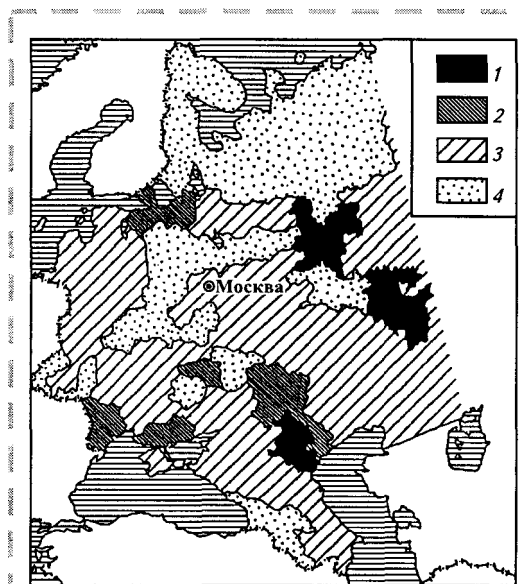


Рис. 31. Содержание NO_3^- в подземных напорных водах европейской части бывш. СССР (по С.Р.Крайнову)

Содержание NO_3^- , кг/л: 1 – более 45; 2 – 45-22; 3 – 22-9; 4 – менее 9

диоксинов состоит в том, что в условиях заполненной сорбционной емкости мелкодисперсных пород верхних водоносных горизонтов диоксины ведут себя как консервативные вещества и их миграция не может сдерживаться геохимическими барьерами.

Современная хозяйственная деятельность обуславливает снижение E_h верхних водоносных горизонтов за счет поступления неокисленных органических соединений с промышленными, сельскохозяйственными и коммунально-бытовыми стоками. В результате E_h подземных вод уменьшается до +250 мВ и менее, создавая условия для миграции и накопления в водах аммония, а также соединений химических элементов с органическими веществами.

Атмогеохимические аномалии

Техногенные атмогеохимические аномалии формируются в результате разработки месторождений углеводородного сырья, утечек из газохранилищ и газопроводов, образования газов в хранилищах бытовых отходов и др. Как правило, их формирование идет на локальном уровне.

Образование газов в хранилищах твердых бытовых отходов связано с протеканием анаэробных микробиологических реакций с органическими компонентами бытовых отходов. Эти газы содержат преимущественно метан, диоксид углерода и азот, кроме того, образуются дурно пахнущие газы - сероводород, меркаптаны ($R-SH$), альдегиды ($R-CHO$) в различной концентрации (вплоть до 150 млн^л). Газовый состав зависит от длительности хранения и фазы брожения. Аэробная фаза протекает в течение нескольких недель, а анаэробное кислое брожение (гниение) может продолжаться в течение нескольких лет. На рис. 32 представлены отдельные фазы брожения. Удельное выделение газов в хранилищах ФРГ оценивается в 60-180 м³/т мусора.

В хранилищах специальных (промышленных) отходов обычно не протекают микробиологические процессы, так как концентрация ядовитых веществ в отхо-

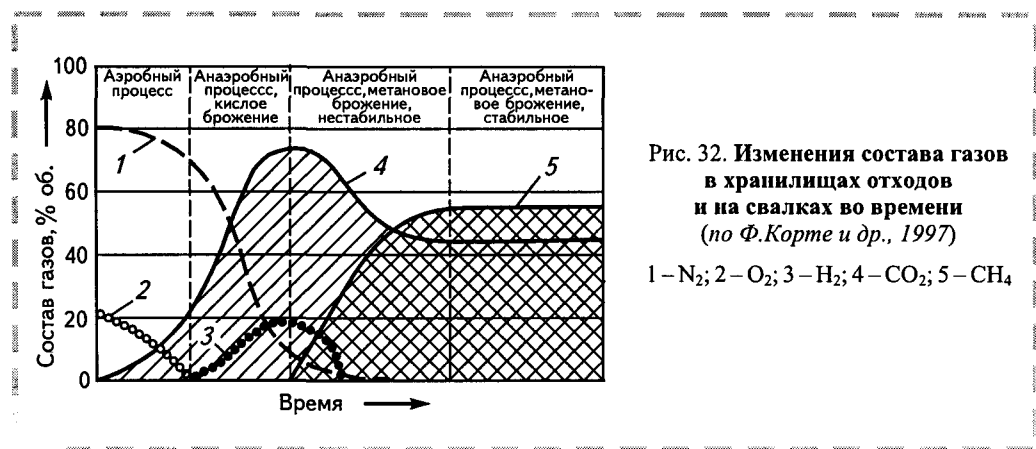


Рис. 32. Изменения состава газов в хранилищах отходов и на свалках во времени (по Ф.Корте и др., 1997)

1 — N_2 ; 2 — O_2 ; 3 — H_2 ; 4 — CO_2 ; 5 — CH_4

дах далеко превосходит предел их токсичности для микроорганизмов. Выделение газообразных веществ большей частью объясняется перемещением находящихся в хранилище веществ на поверхность складированных материалов.

Биогеохимические аномалии

Формирование техногенных биогеохимических аномалий происходит вследствие активного вовлечения поллютантов в биогеохимический цикл в связи с интенсивным применением минеральных и органических удобрений, развитием промышленности. В настоящее время в наибольшей степени изменены биогеохимические циклы основных биофильных элементов: азот, фосфор, углерод, калий, кальций, магний. Так, в степных ландшафтах техногенное подкисление черноземов (кислотные дожди, внесение удобрений и пр.) приводит к интенсивному выносу оснований (Ca, Mg), эссенциальных элементов (Fe, Cu, Zn, Mn, Co и др.), гумуса. Вследствие этого резко снижается урожайность сельскохозяйственных культур, животные и человек не получают жизненно важных элементов. Возникают заболевания – гипомикроэлементозы: обусловленные медью – болезнь Менкеса с тяжелым поражением центральной нервной системы, цинком – врожденные пороки развития, марганцем – диабет и др. Развиваются болезни гипермикроэлементозы при накоплении в приповерхностной части литосферы токсикантов: Pb – свинцовая энцефалопатия, невропатия, Hg – болезнь Минамата, энцефалопатия, Cd – кадмиевые рениты, нефропатия, кардиомиопатия и др.

Таким образом, в зоне формирования геохимических техногенных аномалий токсиканты включаются в биогеохимический цикл, что ведет к возникновению обширных патогенных для живых организмов провинций, опасных для здоровья людей.

Резюмируя приведенную информацию, можно констатировать, что на современном этапе идет формирование техногенных геохимических полей и аномалий во всех компонентах литосферы; зачастую инициаторами их развития выступают вещества и процессы, не характерные для природной литосферы. Современные техногенные комплексы сильно трансформируют природные геохимические экологические свойства литосферы как биотопа экосистемы. Это негативно воздействует на ее биотическую составляющую, превышая адаптационные возможности организмов и провоцируя развитие патогенных явлений.

7.4. Влияние геохимических неоднородностей литосферы на живые организмы и человека

Влияние геохимических неоднородностей литосферы на растительность и животный мир

Геохимические поля могут характеризоваться уровнем содержания элементов, существенно отличающимся от допустимых санитарно-гигиенических (либо медико-биологических) норм и обуславливают патогенез живых орга-

низмов . В этой ситуации мы имеем дело с патогенными геохимическими аномалиями**. Их выявление - одна из актуальных задач экологической геологии.

Развитие патологических отклонений у биоты возможно как в пределах геохимических аномалий избытка, характеризующихся повышенным содержанием ряда элементов (As, Hg, Sr, P и т.д), так и недостатка при пониженном содержании F, I, Ca, Se и других элементов. Особо следует подчеркнуть возможность формирования патологических отклонений при дисбалансе определенных химических элементов - Sr/Ca, Ca/P и др. Районы с таким распределением элементов относятся к дисгармоничным геохимическим аномалиям.

Действие химических элементов определяется интервалом концентраций, при которых возможна нормальная реакция обменных процессов, обусловленная адаптивными возможностями организмов и живого вещества, программированными и разрешенными генотипом. В соответствии с теорией пороговых концентраций В.В.Ковальского (1982), организм может регулировать функции только в условиях определенных пределов изменчивости геохимической среды (табл. 50). Ниже концентрации, соответствующей нижней пороговой концентрации (недостаточное поступление химических элементов в организм) и выше концентрации верхнего порога (избыточное поступление химических элементов), функция гомеостатической регуляции нарушается.

За пределами нижних и верхних пороговых концентраций химических элементов в экстремальных условиях геохимической среды наблюдаются биологические реакции организмов, возникают мутации, возможно изменение наследственной природы организма. Это обусловлено тем, что микроэлементы и минералы исключительно важны для организмов. Они входят в состав костных тканей, являются активаторами и составной частью ферментов и гормонов. Металлы, поглощаемые организмами и содержащиеся в тканях и тканевых жидкостях, могут являться активизаторами действия ферментов (Zn, Mn, Fe, Cd, Co, Ni,

Таблица 50

**Пороговые концентрации микроэлементов
в почвах, мгл⁻¹
(по В.В.Ковальскому, 1982)**

Элемент	Пороговая граница		Предел нормальной регуляции
	нижняя	верхняя	
Co	2-7	30	7-30
Cu	6-15	60	15-60
Zn	30	70	30-70
Mn	400	3000	400-3000
Mo	1,5	4	1,5-4,0
Sr	-	6-10	0-10
I	2-5	40	2-40
B	3-6	30	3-30

* Патогенез - (от греческого pathos - страдание, болезнь) механизмы развития заболеваний и патологических процессов, например, воспаления.

** Патогенные геохимические аномалии - участки территории с отклонением параметров (распределение, концентрация) химических элементов от геохимического фона, отличающимся от санитарно-гигиенических норм и приводящим к патологии флоры, фауны и человеческого организма.

Hg, Re, Cs, Li, La, Al и др.) или ингибиторами (Be, Sr, Ba, Cd, Hg, Ni, Fe, Pb и др.). Ионы кальция активируют многочисленные ферменты, участвуют в передаче нервных импульсов и регулируют проницаемость клеточных мембран, тонус сердечной мышцы. Магний, марганец и молибден в качестве составляющей части ферментов участвуют в многочисленных важных для организма реакциях. Железо, медь, магний и марганец наряду с витаминами группы В необходимы для образования эритроцитов. Кальций и фосфор играют исключительную роль в минерализации костей и зубов.

Токсичность неорганических соединений в порядке убывания можно представить следующим образом: нитраты > хлориды > бромиды > ацетаты > йодиды > перхлораты > сульфаты > фосфаты > карбонаты > фториды > гидроксиды > оксиды. Этот ряд хорошо коррелируется с растворимостью соединений в биологических субстратах. Токсичность солей металлов снижается в следующей последовательности: Cr, V, Mn, Ni, Си, Ba.

Растительность и микроорганизмы являются, как неоднократно подчеркивалось ранее, прекрасными биондикаторами содержания токсикантов в компонентах литосферы. В сопоставлении с абиотическими индикаторами растения и микроорганизмы, биосубстраты млекопитающих и человека суммируют действие всех без исключения биологически важных природных и техногенных факторов в окружающей среде. Именно они указывают места скопления в экологических системах различного рода поллютантов и возможные пути попадания токсичных веществ в пищу животных и человека, позволяют судить о вредности элементов и их соединений для живой природы, включая человека. Современные методы оценки позволяют использовать их для диагностики геохимического качества среды обитания.

Физиологические и морфологические изменения растений, обусловленные токсичностью металлов, охарактеризованы в табл. 51, а роль рассеянных элементов в формировании здоровья животных и человека - в табл. 52.

Учет экологического состояния водных систем, как правило, также ведется по биоиндикаторам. Химический состав донных отложений водных бассейнов играет существенную роль в определении состояния водных экосистем и здоровья человека, являющегося последним звеном трофической цепи "донные осадки-водная растительность-водная фауна-человек". Влияние различных тяжелых металлов и их комбинаций на живые сообщества фитопланктона и водную растительность, моллюсков и рыб довольно хорошо изучено. Наибольшую токсикологическую опасность для водорослей и фитопланктона, следовательно, и для всей экосистемы, представляет загрязнение водоемов и донных осадков семью тяжелыми металлами: Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn, Ni.

Следует отметить, что рядом авторов отмечается способность рыб и моллюсков адаптироваться к плохим условиям обитания. При этом в их организмах происходит накопление тяжелых металлов в концентрациях, опасных для человека. Так, в мясе рыб р.Эльбы, кроме ее приливной части, содержание ртути находится в пределах 0,1-3,0 мг/кг в Чехии и в пределах 1,0-3,0 мг/кг и более в Германии при официальных санитарных нормах до 1,0 мг/кг.

**Физиологические и морфологические изменения растений,
обусловленные различными химическими элементами (по А.А.Беусу и др., 1976)**

Элемент	Характер изменений
Al	Короткие шишковатые корни, покоробленные листья, пятнистость
B	Темная листва; при высокой концентрации бора старые листья покороблены по краям, задержка в росте, деформированные, укороченные междоузлия, ползучие формы; сильное опущение; усиленное галообразование
Cr	Желтые листья с зелеными прожилками
Co	Белые омертвевшие пятна на листьях; уродливые формы караганника; образование наростов на ветвях и коре деревьев
Cu	Омертвевшие пятна на кончиках нижних листьев; багровые стебли, хлорозные листья с зелеными прожилками; задержка в росте корней; у некоторых видов ползучие бесплодные формы
Fe	Задержка в росте верхушки, утолщенные корни; у водорослей – образование сильно увеличенных клеток в результате нарушения их деления
Mn	Хлорозные листья, пораженные стебли и черешки, скрученные и сухие участки по краям листьев, деформация пластинки листа
Mo, Ni	Задержка в росте, желто-оранжевая окраска; белые омертвевшие пятна на листьях; бесплодные бесплодные формы
Ni	Обесцвечивание пластинки листа, уродливые формы у лапчатки вильчатой; изменение окраски листьев до красной и буровато-черной у спиреи и княжника сибирского. Угнетение в росте, задержка развития, неполноценные семена
Zn	Хлорозные листья с зелеными прожилками; белые карликовые формы, омертвевшие пятна на кончиках листьев; задержка в росте корней
Pb, Cu, Zn	Сильное опущение побегов полыни сероземной; сильное ветвление стебля, мутовчатое расположение листьев вместо очередного у гультемии, обильное цветение и плодоношение ефедры
U, Th	Морфологические изменения у березы и ольхи
Nb, Zr, Be	Белая окраска листьев полыни Гмелина, полыни холодной, лапчатки пижмолистной
Be, Y, Yb	Темно-зеленая окраска листьев у стеблей, сильное опущение стеблей горичвета
F, Li, Ta, Nb	Чрезвычайно раннее пожелтение и опадание листьев древесных пород

В Московской и Владимирской областях максимальную техногенную нагрузку испытывают водные экосистемы р.Клязьмы от Щелково до Владимира. В Клязьме и ее притоках Поле, Пекше и Уводи с ухудшением качества воды участились случаи инвазионных заболеваний рыбы, нередко локальные заморы рыбы, что в первую очередь характерно для р.Поли, испытывающей сильную техногенную нагрузку по ртути. Выловленная в Клязьме рыба, особенно на участке чрезмерного загрязнения от Щелково до Ногинска, часто непригодна в пищу. По данным Окского экологического фонда (г.Пушино), даже выловленная на участках умеренной техногенной нагрузки рыба пригодна в пищу без голов и икры, где происходит накопление тяжелых металлов в первую очередь.

**Рассеянные химические элементы и их влияние на здоровье животных и человека
(по Дж.Уотсону, 1986)**

Элемент	Характер воздействия	Источники и районы
<i>Пониженные концентрации</i>		
Co	Исхудание и анемия домашних животных	Почвы, формирующиеся на кислых изверженных породах, песчаниках, известняках
Cu	Истощение, задержка полового созревания пастбищных домашних животных	Те же условия, что и для кобальта, а также почвы, обогащенные молибденом
I	Зоб (базедова болезнь) – нарушение нормальных функций щитовидной железы у человека и домашних животных	Районы, подвергшиеся оледенению (Альпы, Пиренеи, Гималаи, Анды). Дефицит йода в почвах большей частью обусловлен низким уровнем его концентрации в водах
Fe	Анемия, связанная с недостаточным синтезом гемоглобина	У человека дефицит железа может быть обусловлен диетическими ограничениями или некоторыми физиологическими факторами
Se	Мышечная дистрофия у ягнят, вялость сердечной мышцы у человека	Песчаные или сильно выщелоченные почвы, иногда черноземы; центральные районы США, провинция Сычуань (Китай), Новая Зеландия
<i>Повышенные (токсичные) концентрации</i>		
As	Избыток мышьяка ведет к задержке роста растений; очень высокие концентрации оказываются смертельными для животных	Почвы, загрязненные в результате выщелачивания сульфидных рудных тел и рудных отвалов или зараженные жидкими промышленными отходами. Случаи мышьякового отравления могут иметь и другие причины
Cd	Перерождение почек, распад костной ткани, цирроз печени	Те же условия, что и для мышьяка
Pb	Нарушение деятельности почек и нервной системы, задержка синтеза протепина в крови	Те же условия, что и для мышьяка, а также загрязнение мягкой воды промышленными отходами и продуктами сгорания бензина
Hg	Нарушение деятельности центральной нервной системы (болезнь Минамата)	Те же условия, что и для мышьяка. Районы вблизи некоторых фумарол и вулканических жерл. В Японии (залив Минамата) заболевание связано с особенностями питания (основные продукты – морские водоросли, содержащие ртуть)

Для техногенных зон загрязнения в горно-рудных районах наблюдается широкий спектр отрицательных биологических реакций. Так, в Уэльсе и Сомерсете в 100-500 м от старых природных отвалов вследствие ветровой и водной эрозии образовались аномалии с содержанием свинца в растениях до 275 мкг/г. При выпасе на этих участках регистрировались случаи гибели домашнего скота. При этом в фекалиях коров содержание кадмия достигало 6-50 мкг/г при норме 1-2 мкг/г.

Интенсивное освоение рудных месторождений приводит к усугублению эколого-геохимической ситуации в районе вследствие дополнительных техногенных потоков вещества. Так, по данным И.А.Авессаломовой, А.В.Хорошева (1996), в районе Тырнаузского рудного узла наблюдается резкий избыток Мо в травах - 30-300 мг/кг, а суммарный показатель концентрации токсичных элементов (Z_c) колеблется от 16 до 128. Среди типичных заболеваний отмечены пневмокониозы, хронические пылевые бронхиты, пылевые ларингофарингиты. Широкое распространение получила молибденовая подагра.

Таким образом, можно констатировать, что в районах развития техногенных лито- и гидрогеохимических аномалий развиваются негативные реакции у живых организмов как на микро-, так и на макроуровне.

Геохимически неоднородности литосферы и здоровье человека

Проявления патологии человека, связанные с микро- и макроэлементами, крайне многообразны (см. табл. 51).

Зависимость здоровья человека от содержания микроэлементов послужила основанием для выделения нового класса болезней - микроэлементозов, т.е. заболеваний и синдромов, в этиологии которых главную роль играет недостаток или избыток в организме человека элементов или их дисбаланс.

Принципы классифицирования заболеваний, обусловленных биогеохимическими факторами, разработаны А.П.Авцыном, А.А.Жаворонковым, Л.С.Стручковым (1983). Из всего многообразия выделяемых на сегодня групп микроэлементозов с позиции экологической геологии, в первую очередь, представляют интерес природные экзогенные и техногенные группы микроэлементозов (табл. 53), обусловленные поступлением микроэлементов из естественной или техногенно преобразованной литосферы.

Примерами природных и техногенных экзогенных микроэлементозов (эндемий) могут служить селенодефицит, железодефицит, молибденовая подагра и др. Развитие заболеваний может быть спровоцировано как недостатком и избытком одного химического элемента (Ca, Cu, Zn, J, Sr и др.), так и соотношением многих хи-

* Синдром (от греческого syndrome - скопление) - закономерное сочетание симптомов, обусловленное единым патогенезом; рассматривается как самостоятельное заболевание (например, синдром Меньера) или как стадия (форма) какого-либо заболевания (например, нефротический синдром, уремия при хроническом нефрите).

Микроэлементозы человека (по А.П.Авцыну и др., 1983)

Основные группы	Краткая характеристика
I. Природные эндогенные:	
врожденные	При врожденных микроэлементозах в основе заболевания может лежать микроэлементоз матери
наследственные	При наследственных – недостаток, избыток или дисбаланс микроэлементов вызывается патологией хромосом или генов
II. Природные экзогенные, вызванные:	
дефицитом, избытком или дисбалансом элементов	Не связанные с деятельностью человека и приуроченные к определенным географическим локациям; эндемические заболевания людей, нередко сопровождающиеся теми или иными патологическими признаками у животных и растений
III. Техногенные:	
промышленные (профессиональные), соседские и трансгрессивные	Связанные с производственной деятельностью человека болезни и синдромы, вызванные избытком определенных микроэлементов и их соединений непосредственно в зоне самого производства, по соседству с производством и в значительном отдалении от него за счет их воздушного или водного переноса
IV. Ятрогенные:	
пероральные, парентеральные, чрезкожные, ингаляционные	Быстро увеличивающееся число заболеваний и синдромов, связанных с интенсивным лечением разных болезней препаратами, содержащими микроэлементы, а также поддерживающей терапией (например, полным парентеральным питанием), не обеспечивающими организм необходимым уровнем жизненно важных микроэлементов; с некоторыми лечебными процедурами (диализом)

мических элементов (Co-Cu, Sr-Ca, Ca-P и др.). В первом случае оперируют понятием "мономикроэлементозы", во втором - "полимикроэлементозы" (табл. 54).

Тяжелые металлы обычно накапливаются в организме человека совместно. Установлены синергизм и антагонизм такого комплексного воздействия. При синергизме эффект действия многократно усиливается. Токсичность иона свинца усугубляется недостатком по кальций-иону, а лития - по натрию. Из-за антагонизма цинка и кадмия введение избыточных количеств первого приводит к уменьшению содержания последнего, отличающегося повышенной токсичностью. Токсичность тяжелых металлов сильно зависит от форм нахождения их в окружающей среде. Особенно опасны металлоорганические соединения (метилртути, свинца и др.). Летучие тяжелые металлы (ртуть, кадмий, мышьяк, сурьма, селен, литий) легко проникают в организм человека через органы дыхания.

Анализ данных по распространению заболеваний человека и патогенных геохимических полей показывает на их взаимообусловленность. Так, эндемический уrolитиаз развивается в условиях повышенного поступления в организм кремния в сочетании с высоким содержанием в биосфере фтора, марганца, нитратов, сульфатов и хлоритов. На рис. 33 показано распространение кремнистых пород и эндемического уrolитиаза на территории нашей страны, где отмечено нарушение

Болезни и синдромы биогеохимической природы (по А.П.Авцыну и др., 1983)

Болезни, синдромы	Биогеохимические аномалии природного происхождения
<i>Мономикроэлементозы</i>	
Алюминиевая болезнь	Избыток алюминия
Арсеноз	Избыток мышьяка
Молибденовая подагра	Избыток молибдена
Никелевая экзема и другие дерматозы; хронический токсикоз	Избыток никеля
Сатурнизм (анемии, кишечные колики, энцефалопатии)	Избыток свинца
Селеноз (артриты, алопеция, ломкость ногтей)	Избыток селена
Флюороз	Избыток фтора
Хромовый токсикоз (дерматиты, рак кожи)	Избыток хрома
Хромдефицитный синдром	Недостаток хрома
Цинкдефицитный синдром	Недостаток цинка
<i>Полимикроэлементозы</i>	
Анемии биогеохимической природы	Недостаток железа, избыток меди, недостаток меди, недостаток молибдена при избытке марганца
Асбестоз	Избыток кремния, магния, железа, кальция, натрия
Зоб эндемический	Недостаток йода, избыток марганца, фтора при недостатке молибдена, избыток кобальта при относительном недостатке йода
Кариес зубов	Недостаток фтора, избыток марганца при дисбалансе некоторых других микроэлементов
Мочекаменная болезнь	Избыток кальция, избыток кремния при недостатке кобальта, молибдена, бора, цинка
Остеохондродистрофия, витамин-Д-резистентный рахит	Избыток стронция и кальция
Селендефицитная миокардиопатия	Недостаток селена при дисбалансе других элементов (избыток кобальта?)
Уровская (Кашина-Бекз) болезнь	Недостаток кальция при избытке стронция. Избыток фосфатов при недостатке кальция и дисбалансе других микроэлементов

у млекопитающих фосфорно-кальциевого обмена, характеризующегося снижением реабсорбции фосфора в почках.

На всех обитаемых континентах земного шара выявлены очаги эндемического флюороза, развивающегося в результате избытка в компонентах литосферы фтора. Флюороз - явление межнационального масштаба; он наблюдается в Северной

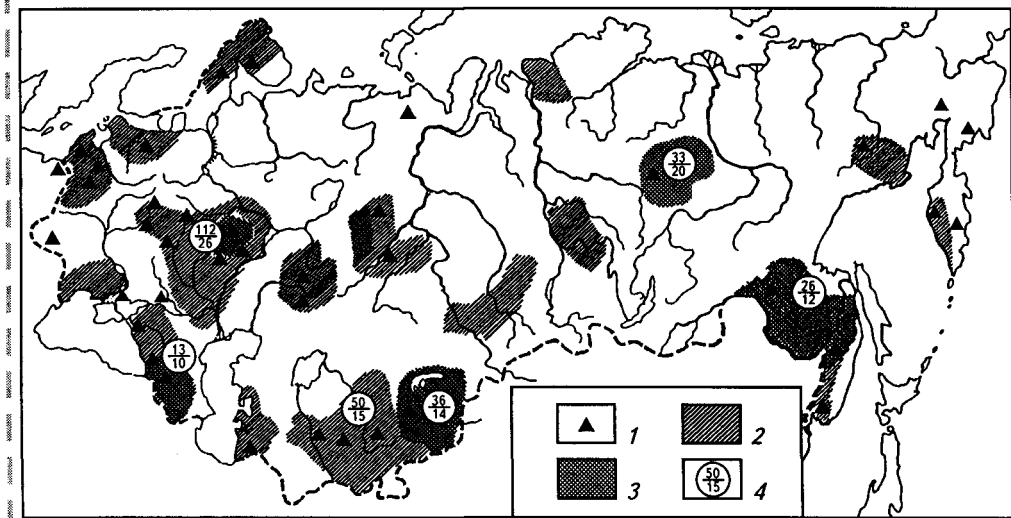


Рис. 33. Схема распространения кремнистых пород и эндемического уролитиаза на территории СССР (по В.В.Ковальскому и В.Л.Сусликову, 1982)

1 – месторождения кремнистых пород (разрабатываемые); 2 – территории, эндемичные по уролитиазу; 3 – территории, особо эндемичные по уролитиазу; 4 – числитель – показатель заболеваемости населения уролитиазом на 10 тыс. жителей; знаменатель – среднее содержание кремния в питьевых водоисточниках в мг/л

Америке и в Европе, а также в странах Азии, в частности, в Индии, где данная проблема приобрела государственное значение. Природная зона флюороза здесь названа "флюорозным поясом". Фтор в организме в повышенных количествах накапливается в минерализованных тканях, в костях и зубах, а также в волосах. Поэтому волосы часто используют для биотестирования с целью оценки хронического гипертрофирования организма. В очаге эндемии концентрация фтора в волосах составляет 480-830 мг/кг, а вне очага - 53-73 мг/кг.

Эндемический арсеноз - заболевание, обусловленное избыточным поступлением в организм с питьевой водой (0,5-6,0 мг/л) и с пищей неорганических форм мышьяка. Наиболее известны провинции и очаги в Аргентине, КНДР, США, Мексике, Японии. Мышьяковистый рак кожи описан в Аргентине, Канаде, Китае, Чехословакии, Франции, Германии, Израиле, Японии, Южной Африке, Швейцарии, Великобритании, США.

Вследствие нарушения кальций-фосфорного баланса в северных районах Китая широкое распространение получила болезнь Кашина-Бека, известная на смежных территориях России - в Приаргунье как уровская болезнь. Механические свойства скелета, состоящие в основном из фосфата кальция (аппатита), нарушаются, если в воде имеется избыток фосфора (дефицит кальция). Замечено, что на территориях, сложенных известняками, где кальция достаточно, данные заболевания не фиксируются.

Анализ распространения в Китае злокачественных образований, согласно данным, приводимым в "Атласе смертности от рака в КНР" (1981), показал, что динамика смертности от рака в соседних регионах не зависит от административных границ и организации медицинского обслуживания, а связана с содержанием во внешней среде таких микроэлементов, как кобальт, молибден, никель, селен, силиций. Согласно анализу, распространение сердечно-сосудистых болезней в 37 городах Китая и смертность населения лиц старше 40 лет находятся в прямой корреляционной зависимости от жесткости питьевой воды.

Следует подчеркнуть, что основная масса населения подпадает под действие тяжелых металлов, агрохимикатов в результате потребления пищи (как растительного, так и животного происхождения) и воды. Установлено более высокое негативное влияние на биоту совместного нахождения в почвах пестицидов и нитратов, чем их изолированное воздействие. Поэтому актуальной является задача изучения механизма хронической интоксикации при действии остаточных количеств агрохимикатов в пищевых продуктах и воде. Так, суточный рацион человека, содержащий по нитрат-иону в Узбекистане 240 мг, на Украине - 167 мг, в Молдове - 90-101 мг, в Белоруссии - 74-182 мг, оценивается как высокий и влияющий на здоровье людей. При хронических интоксикациях остаточными агрохимикатами человека на первый план выступают нарушения центральной нервной системы в виде астено-вегетативного синдрома. Многие авторы указывают на прямую связь **носительства** пестицидов с заболеваниями печени, почек, желудочно-кишечного тракта, крови. Существенное влияние оказывают пестициды на иммунитет.

Тесная связь между степенью накопления токсикантов и уровнем заболевания населения обусловлена зачастую комплексным воздействием на организм различных групп ксенобиотиков: тяжелых металлов, полициклических ароматических углеводородов, пестицидов и др. По мнению ряда авторов, иммунная система является детерминантной гомеостатической системой, так как именно снижение иммунитета знаменует собой неудовлетворительное функционирование организма, поскольку определение состояния иммунитета является наиболее важным интегральным критерием при оценке воздействия внешней среды, в том числе и литосферы, на организм. При этом клетки иммунной системы выступают в роли первичной мишени и отражают взаимодействие с ксенобиотиками на клеточном уровне. В то же время они являются вторичной мишенью в результате нейрогуморальных влияний, характеризующих системную реакцию организма на данный фактор.

Кроме того, действие химических веществ нередко проявляется на фоне уже существующих заболеваний, провоцируя их обострение или способствуя развитию патологии той системы, где уже имелись предпатологические изменения. Поэтому системой, или органом-мишенью человеческого организма, может стать любая система, в отношении которой до воздействия уже наблюдалась минимизация функций.

Таким образом, при исследовании геохимической экологической функции литосферы и последствий ее воздействия на биоту необходима консолидация ученых различного профиля. Исторически сложившаяся дифференциация науки, обуслов-

ленная потребностью решения практических конкретных задач, способствовала накоплению колоссального научно-исследовательского материала по различным компонентам рассматриваемой системы. Однако для исследования геохимических свойств литосферы с позиций экологической геологии необходима их интеграция, так как узкая специализация является на современном этапе тормозом решения основной задачи естествознания - выявление и обеспечение комфортного существования человеческого сообщества в гармонии с природой.

7.5. Критерии оценки состояния эколого-геохимических условий, обусловленных проявлением геохимической экологической функции литосферы

В настоящее время в России и за рубежом приоритетное распространение получили три подхода к нормированию экологически опасных токсикантов в объектах окружающей среды:

санитарно-гигиенический, базирующийся на величинах нормативных предельно-допустимых концентраций;

геохимический, оперирующий величинами кларков концентраций, фоновых величин, суммарных величин токсикантов и других геохимических параметров;

биогеохимический, оценивающий растения как интегральный показатель содержания токсичных элементов в почвах.

Нормативные критерии, оценивающие медико-санитарную обстановку по данным геохимических особенностей литосферы

В эколого-геологическом аспекте наиболее интересными являются подходы к разработке ПДК, базирующиеся на гигиеническом нормировании по показателям вредности. Они включают серию показателей: транслокационный, лимитирующий переход нормируемого элемента в растение; миграционный водный, нормирующий переход токсикантов в водную среду; миграционный воздушный, нормирующий поступление элементов в воздушную среду; общесанитарный, оценивающий самоочищающую способность почвы и почвенный микробиоценоз (табл. 55).

Отмеченные показатели явились базовыми для первого нормативного документа, регламентирующего инженерно-экологические изыскания (СП 11-102-97), в качестве критериев оценки загрязнения почв и горных пород неорганическими и органическими веществами. На основании данных показателей разработаны градации степени загрязнения компонентов литосферы, почв и вод органическими и неорганическими веществами: (см. табл. 20-23), которые могут быть использованы в целях картографического отражения эколого-геохимического состояния литосферы.

**Предельно допустимые концентрации некоторых химических веществ в почве
и допустимые уровни их содержания по показателям вредности (СП-11-102-97)**

Химическое вещество	Класс опас- ности	Форма, содержание	ПДК, мг/кг поч- вы с учетом фона (кларка)	Показатель вредности (K_{\max})			
				Транслокаци- онный K_1	Миграционный		Общесанитарный K_4
					Водный K_2	Воздушный K_3	
Цинк	1	Подвижная	23,0	23,0	200,0	-	37,0
Медь	2	-"	3,0	3,5	72,0	-	3,0
Никель	2	-"	4,0	6,7	14,0	-	4,0
Кобальт	2	-"	5,0	25,0	> 1000,0	-	5,0
Хром	2	-"	6,0	6,0	6,0	-	6,0
Фтор	1	Водорастворимая	10,0	10,0	10,0	-	25,0
Свинец	1	Валовое содержание	30,0	35,0	260,0	-	30,0
Мышьяк	1	-"	2,0	2,0	15,0	-	10,0
Ртуть	1	-"	2,1	2,1	33,0	2,5	5,0
Свинец + ртуть	1	-"	20,0+1,0	20,0+1,0	30,0+2,0	-	50,0+2,0
Сурьма	2	-"	4,5	4,5	4,5	-	50,0
Марганец	3	-"	1500,0	3500,0	1500,0	-	1500,0
Ванадий	3	-"	150,0	170,0	350,0	-	150,0
Марганец + ванадий	3	-"	1000,0+ +100,0	1500,0+ +150,0	2000,0+ +200,0	-	1000,0+ +100,0
Сероводород	3	-"	0,4	160,0	140,0	0,4	160,0
Элементарная сера	3	-"	160,0	180,0	380,0	-	160,0
Серная кислота	1	-"	160,0	180,0	380,0	-	160,0
Нитраты	2	-"	130,0	180,0	130,0	-	225,0
Бензол	2	-"	0,3	3,0	10,0	0,3	50,0
Толуол	2	-"	0,3	0,3	100,0	0,3	50,0
Альфамстилстирол	2	-"	0,5	3,0	100,0	0,5	50,0
Стирол	2	-"	0,1	0,3	100,0	0,1	1,0
Ксилол	2	-"	0,3	0,3	100,0	0,4	1,0

На основе отмеченных показателей Н.З.Милащенко, Л.В.Посмитной, Н.М.Варюшкиной и М.А.Высоковым предложена четырехгранговая схема оценки системы "почва-растение":

категория допустимого загрязнения почв: содержание химических веществ в почвах превышает фоновое, но не выше ПДК. В этой зоне возможно использование почв под любые культуры;

категория умеренно-опасного загрязнения почв, где количество химических веществ в почвах превышает ПДК при лимитирующем обще санитарном, водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю. Почвы данной зоны возможно использовать под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений;

категория высокоопасного загрязнения почв: содержание химических веществ в почвах превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности. В данной зоне использование почв под сельскохозяйственные культуры ограничено, исключаются из севооборота те растения, которые могут являться концентраторами токсичных веществ. Целесообразно использование почв под технические культуры без получения из них продуктов питания и кормов;

категория чрезвычайно опасного загрязнения почв, содержание химических веществ в почвах превышает ПДК по всем показателям. Эта зона исключается из сельскохозяйственного использования.

Оценка качества вод питьевого назначения проводится на основании величин предельно-допустимых концентраций (см. табл. 22), по санитарно-токсикологическому признаку. Рекомендуются критерии санитарно-гигиенической опасности загрязнения питьевой воды и источников питьевого водоснабжения детально рассмотрены в нормативных документах. Критерии оценки степени загрязнения подземных вод в зоне влияния хозяйственных объектов приведены в табл. 56.

В заключение следует отметить, что выполняемые оценки на основе ПДК в последнее время встречают обоснованные критические замечания, связанные с рядом негативных позиций. Отметим три из них.

1. В существующих ПДК не учитываются эффекты химического и биологического накопления загрязняющих веществ в недопустимо высоких концентрациях в результате перехода из среды в среду; также не учитываются их накопление в трофических цепях, превращение при миграции в более токсичные формы. Санитарно-гигиенические нормы правомерны там, где вторичные природные процессы являются неопределяющими, что существенно ограничивает возможность их применения.

2. В настоящее время сложившиеся в области гигиены и токсикологии подходы ориентированы на определение полулетальной дозы, а затем пороговых концентраций. Многочисленные зависимости "доза-время-эффект", на основании которых определяется ПДК, близки между собой в диапазоне высоких доз и существенно различаются в диапазоне низких доз.

3. ПДК устанавливаются в эксперименте на лабораторных животных, преимущественно на крысах и мышах. Однако именно эти виды животных являются наи-

**Критерии оценки степени загрязнения подземных вод
в зоне влияния хозяйственных объектов**
(Критерии оценки экологической обстановки территорий
для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия,
утвержденные Минприроды России 30 ноября 1992 г.)

Определяемые показатели	Критерии оценки		
	Зона экологического бедствия	Чрезвычайная экологическая ситуация	Относительно удовлетворительная ситуация
Основные:			
содержание загрязняющих веществ (нитраты, фенолы, тяжелые металлы, синтетические поверхностно-активные вещества, нефть), ПДК*	> 100	10-100	3-5
хлорорганические соединения, ПДК	> 3	1-3	< 1
канцерогены – бенз(а)пирен, ПДК	> 3	1-3	< 1
площадь области загрязнения, км ²	> 8	3-5	< 0,5
минерализация, г/л	> 100	10-100	< 3
Дополнительные:			
растворенный кислород, мг/л	< I	4-1	> 4

*ПДК – санитарно-гигиенические.

более устойчивыми к химическим веществам. Адекватность экстраполяции данных на организм человека активно дискутируется в литературе. В частности, высказывается мнение, что при нормировании факторов окружающей среды в населенных местах оценочным критерием их действия на организм должны служить не патологические, а функциональные изменения, а в качестве допустимого уровня должны приниматься подпороговые величины, которые не вызывают компенсаторного напряжения функциональных систем организма.

Геохимические критерии

В качестве критерия оценки эколого-геохимического состояния компонентов природной среды и экологической обстановки территории чаще всего используется суммарный показатель содержания токсикантов (Z_c), так как геохимические аномалии имеют полиэлементный состав.

$$Z_c = \sum_1^n K_c - (n - 1),$$

где K_c – коэффициент концентрации (отношение содержания химического элемента в оцениваемом объекте к его фоновому содержанию); n – число химических элементов, входящих в изучаемую ассоциацию.

По суммарному содержанию тяжелых металлов в почвах (Z_c) под руководством Ю.Е.Саета была разработана четырехранговая ориентировочная оценочная шкала системы "почва-человек":

допустимая степень загрязнения почв ($Z_c < 16$). Для данных местностей характерны наиболее низкие показатели заболеваемости детей, и частота встречаемости функциональных отклонений минимальна;

умеренно опасная степень загрязнения ($Z_c = 16-32$). Характерно повышение уровня общей заболеваемости населения;

опасная степень загрязнения почв ($Z_c = 32-128$). Отмечаются высокий уровень общей заболеваемости, рост числа часто болеющих детей, а также детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы;

чрезвычайно опасная степень загрязнения почв ($Z_c > 128$). Характерно наряду с высоким уровнем заболеваемости детей нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофии новорожденных).

Однако следует иметь в виду, что при использовании данного показателя не учитываются ни подразделения на классы гигиенической опасности, ни современные разработки по токсикологии химических элементов. Одна и та же степень загрязнения по суммарному показателю может быть вызвана различными тяжелыми металлами.

Объединение химических элементов в группы для оценки совместного воздействия следует делать на основе либо общности их химических свойств, либо на основе их токсикологической опасности для живых организмов. В настоящее время этот вопрос мало изучен и требует постановки специальных исследований.

Для определения степени загрязнения донных отложений германских рек тяжелыми металлами пользуются "игео-классами", или "индексами геоаккумуляции", по Г.Мюллеру (табл. 57), которые определяются на основе уравнения:

$$I\text{-geo}_n = \log_2 (C_n/1,5B_n),$$

где C_n - измеренная концентрация элемента n в донных отложениях (фракция менее 0,020 мм); B_n - геохимическая фоновая концентрация элемента n (определяется по данным специальных региональных исследований), умножение ее на 1,5 осуществляется для учета природных флуктуаций.

Этот показатель является основанием для подразделения донных отложений на различные классы качества (табл. 58). Данная классификация используется при составлении карт загрязнения донных отложений по каждому тяжелому металлу. Серии таких карт позволяют наиболее адекватно оценить техногенную нагрузку на речные экосистемы и выявить наиболее неблагоприятные в экологическом отношении территории. В течение почти 20 лет эта система классификации находит широкое применение в Германии.

**Значения концентраций основных тяжелых металлов по игео-классам
(по Г.Мюллеру, 1979)**

Элемент	Фон элемента	Классы геоаккумуляции (игео-классы)						
		0	1	2	3	4	5	6
Fe	4,72	7,08	14,16	28,32	56,64	> 56,64		
Mn	850	1275	2550	5100	10 200	20 400	40 800	> 81 600
Cd	0,3	0,45	0,9	1,8	3,6	7,2	14,4	> 28,8
Zn	95	142,5	285	570	1140	2280	4560	> 9120
Pb	20	30	60	120	240	480	960	> 1920
Cu	45	67,5	135	270	540	1080	2160	> 4320
Ni	68	102	204	408	816	1632	3264	> 6528
Co	19	28,5	57	114	228	456	912	> 1824
Cr	90	135	270	540	1080	2160	4320	> 8640
As	13	19,5	39	78	156	312	624	> 624
Hg	0,4	0,6	1,2	2,4	4,8	9,6	19,2	> 38,4

Примечание: концентрации элементов даны в мг/кг, Fe – в %.

Таблица 58

**Характеристика уровня загрязнения донных отложений
по игео-классам и техногенной нагрузки на водные экосистемы
(по Г.Мюллеру, 1979; с изменением)**

Игео-класс	Уровень загрязнения тяжелыми металлами донных отложений (по Г.Мюллеру)	Техногенная нагрузка на водные экосистемы	Экологическая зона водных экосистем. Класс состояния донных осадков
0	Незагрязненные		Зона нормы.
1	Незагрязненные до умеренно загрязненных	Слабая (малоопасная)	Удовлетворительное (благоприятное) состояние
2	Умеренно загрязненные		Зона риска.
3	Средне загрязненные	Умеренная (умеренно опасная)	Неблагоприятное состояние
4	Сильно загрязненные		Зона кризиса.
5	Сильно загрязненные до чрезмерно загрязненных	Сильная (опасная)	Весьма неблагоприятное состояние
6	Чрезмерно загрязненные	Чрезмерная (чрезвычайно опасная)	Зона бедствия. Катастрофическое состояние

Отмеченные четырехранговые оценочные шкалы систем: "почва (порода)–человек", "почва–растение", "донные осадки–биота" коррелируют с оценкой зон экологического нарушения экосистем, по Б.В.Виноградову (зоны экологической нормы, риска, кризиса и бедствия), и классами состояния эколого-геологических условий литосферы и ее компонентов, выделяемыми В.Т.Трофимовым и Д.Г.Зилингом.

Биогеохимические критерии

В.В.Ковальским (1989, 1994) и другими исследователями в геохимической экологии разрабатывается учение о нижних и верхних пороговых концентрациях, которые отражают емкость геомеостатических регуляторов системы (см. раздел 7.4). Предлагается опираться на вероятностный принцип как варьирование пороговой величины в популяции. К факторам, влияющим на чувствительность организма к химическому воздействию, относятся периоды развития организма, генетические особенности, дефицит питания, наличие предрасполагающих заболеваний и индивидуальные привычки.

Развивая этот подход, В.В.Ермаков (1993–1995) предложил рассматривать растения как интегральный показатель содержания токсичных элементов в почвах и на их основе выполнять эколого-биогеохимическое районирование территории. Такие работы уже выполнены. Ранее было показано (гл. 5), что компоненты литосферы попадают в зону минерального питания растений (по В.И.Бгатову, 1993) и включаются в процесс миграции по трофическим цепям.

Таблица 59

Биогеохимические критерии оценки экологического состояния территорий (по В.В.Ермакову, 1991; с дополнением)

Химический элемент	Степень экологического неблагополучия (категория геохимического воздействия)			Относительно удовлетворительное состояние
	Бедствие (опасное)	Кризис (сильное)	Риск (умеренное)	Норма (слабое)
1	2	3	4	5
Концентрации микроэлементов в укосах, пастбищных растениях и растительных кормах (мг/кг сухого вещества)				
Zn	< 2 или > 500	2-10 или 100-500	10-20 или 60-100	20-60
Cu	< 0,5 или > 100	0,5-2 или 80-100	2-5 или 20-80	5-20
Co	< 0,01 или > 50	0,01-0,05 или 5-50	0,05-0,2 или 5-10	0,2-1,0
Mo	< 0,2 или > 50	0,2-0,5 или 10-50	0,5-1,0 или 3-10	1-3
B	< 1 или > 300	0,1-0,5 или 100-300	0,5-1,0 или 30-100	1-30
F	< 1 или > 200	1-3 или 100-200	3-5 или 30-100	5-30
J	< 0,05 или > 20	0,05-0,1 или 5-20	0,1-0,2 или 2-5	0,2-2,0
Se	< 0,01 или > 50	0,01-0,03 или 10-50	0,03-0,05 или 2-10	0,05-1,0

1	2	3	4	5
Содержание высокотоксичных химических элементов в кормах и укосах растений (превышение МДУ, число раз)				
As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, S, Sb	> 10	5-10	1,5-5	1,1-1,5
Содержание токсичных химических элементов в растениях и растительных кормах (превышение фоновой концентрации, число раз)				
Ba, Be, Tl	> 10	5-10	1,5-5	1,1-1,5
Отношение кальция к фосфору в кормах*				
Ca:P	< 0,1 или > 30	0,1-0,4 или 10-30	0,4-1,0 или 3-10	1-3
Отношение кальция к стронцию в кормах и укосах растений				
Ca:Sr	< 1	1-10	10-50	> 50-100

*Размер неблагополучной территории – более 20% общей площади административной единицы (село, район, город и т.д.).

Поэтому можно рассматривать растения как интегральный показатель содержания элементов в горных породах приповерхностной части литосферы и использовать предложенные В.В.Ермаковым биогеохимические показатели в качестве интегральных критериев, оценивающих состояние эколого-геологической системы при эколого-геохимическом районировании территории (табл. 59).

Литература

Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафта. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. — 108 с.

Авцына П., Жаворонков А.А. Биогеохимические эндемии (микроэлементозы) человека // Руководство по медицинской географии / Под ред. А.А.Келлера, О.П.Шепина, А.В.Чаклина. — СПб.: ГИППОКРАТ, 1993. — С. 194-212.

Бгатов В.Н. Подходы к экологии. — Новосибирск: Изд-во Новосибирского ун-та, 1993. — 221 с.

Богдановский Г.А. Химическая экология. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. — 234 с.

Гавриленко В.В. Экологическая минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых. — СПб, 1993. — 158 с.

Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенному воздействию. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. — 107 с.

Добровольский Г.В., Никитин В.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (Экологическое значение почв). — М.: Наука, 1990. — 258 с.

Ермаков В.В. Биогеохимическое районирование континентов // Биогеохимические основы экологического нормирования. - М.: Наука, 1993. - С. 5-24.

Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн.1,2. - М.: Недра, 1994. - 304 с, 301 с; Кн.3. - М.: Недра, 1996. - 351 с; Кн.4. - М.: Экология, 1996. - 403 с; Кн.5,6. - М.: Экология, 1997. - 575 с, 607 с.

Ковальский В.В. Геохимическая экология. - М.: Наука, 1994. - 280 с.

Крайнов С.Р., Швеиц В.М. Гидрогеохимия. — М.: Недра, 1992. - 464 с.

Перельман А.И. Геохимия. - М.: Высшая школа, 1989. - 526 с.

Прохоров Б.Б. Медико-экологическое районирование и региональный прогноз здоровья населения России. - М.: Изд-во МНЭПУ, 1996. - 72 с.

Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. — М.: Недра, 1990. — 335 с.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432 с.

Экология, охрана природы и экологическая безопасность / Под ред. В.И.Данилова-Данильяна, - М.: Изд-во МНЭПУ, 1997. - 744 с.

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ **ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ***

8.1. Определение, значение и структура геофизической экологической функции литосферы

Под геофизической экологической функцией литосферы мы понимаем функцию, отражающую свойства геофизических полей литосферы природного и техногенного происхождения влиять на состояние биосферы и здоровье человека. Эту функцию следует понимать как "способность" литосферы обеспечивать и поддерживать на поверхности планеты и в приповерхностной ее части энергетические условия, пригодные для существования живых организмов.

Энергетическое воздействие окружающей среды на живые организмы реализуется через геофизические поля различной природы - естественные (космического и земного происхождения) и техногенные. Всякое отклонение от "привычных" окружающих условий может нести с собой опасность возникновения негативных для биоты последствий либо непосредственно при изменяющемся условия воздействия, либо через значительные промежутки времени (отдаленные последствия). Ответной реакцией живых организмов на воздействие является адаптация (полная или частичная, кратковременная или устойчивая) или патологические изменения в них, представляющие собой своего рода "плату" за жизнь в неадекватных по своим параметрам условиях, в том числе и энергетических, отличающихся от нормальных для данной формы жизни.

Картина, которую приходится при этом наблюдать на всех уровнях - от микробных популяций до человеческих социумов - и которая характеризует приспособительные реакции живых организмов на внешнее энергетическое воздействие, выглядит приблизительно одинаково, различаясь скорее количественно, нежели качественно. Такой представляется роль геофизической функции в общей концепции экологических функций литосферы.

Исходя из этого, объектом изучения при исследовании геофизической экологической функции литосферы являются природные и техногенные геофизические поля, их аномальные проявления вплоть до формирования так называемых геопатогенных зон, а предметом исследования - взаимодействие полей с биотой и влияние, которое они оказывают на состояние биоты в целом и, в частности, на здоровье людей.

Термином *геофизические поля* будем называть *естественные физические поля космического и земного (ионосферного, атмосферного, гидросферного, лито-*

* Глава составлена при участии А.Д.Жигалина.

сферного, глубинного) происхождения, а также техногенные поля, действующие в пределах литосферы, преобразованные и распределенные ею. Особо следует подчеркнуть прямую генетическую связь полей, называемых нами геофизическими, именно с литосферой или с глубинными "сферами" земного шара и лишь опосредованную через литосферу связь с процессами, происходящими в ближнем и дальнем Космосе. Это значит, что все рассматриваемые геофизические поля обусловлены либо особенностями строения литосферы и Земли в целом (например, гравитационное и внутреннее геомагнитное поля), либо характером геодинамических, физических и химических процессов (например, радиоактивное, температурное и электрическое поля, а также поле сейсмичности). Перечень геофизических полей включает поля следующих видов (см.рис. 3): гравитационное (поле силы тяжести), магнитное, электрического тока (постоянного, переменного и медленно меняющегося), температурное, сейсмическое (поле упругих механических колебаний), радиационное (поле ионизирующего излучения). К числу наиболее действенных с экологических позиций следует относить гравитационное, температурное, геомагнитное, электрическое и радиационное поля.

Напомним, что жизнь на Земле появилась и развивалась в условиях преимущественного влияния гравитационного, геомагнитного и температурного полей. Первое из них, если и менялось на протяжении истории существования биосферы, то исключительно синхронно с ее развитием. Это позволяет предполагать, что каждый геологический отрезок времени биосфера существовала при относительно стабильном гравитационном поле. Правда, существуют источники, отсылающие нас к мифологии и преданиям ушедших цивилизаций, указывающие на некий "гравитационный катаклизм", имевший место на Земле приблизительно 10-14 тысяч лет тому назад. Однако те же свидетельства подтверждают, что после серии подобного рода глобальных катастроф, следующих друг за другом через небольшие промежутки времени, гравитационное поле Земли "пришло в норму" и все закончилось относительно благополучно, хотя лишь для биосферы в целом, но не для древних цивилизаций, многие из которых по тем или иным причинам, связанным с указанными событиями, исчезли навсегда.

Следует упомянуть также и о радикальных изменениях геомагнитного поля, в частности о дрейфе геомагнитных полюсов и о смене магнитной полярности (инверсиях геомагнитного поля) с временным интервалом от 0,5 до 10 млн лет, о чем свидетельствуют данные палеомагнитных исследований. Но, в противоположность гравитационному полю, существенные с планетарных позиций изменения геомагнитного поля, если и случались, то проходили, по всей видимости, без катастрофических последствий для биосферы за исключением эпох смены полярности геомагнитного поля.

На эволюционные процессы в биосфере существенное влияние оказывали изменения температурного режима поверхности планеты. Данные палеогеографических исследований свидетельствуют о том, что в геологической истории Земли периодически происходили глобальные изменения климата. Резкое общее похоло-

дание и наступление ледников можно рассматривать как серьезное испытание для биосферы, граничащее с катастрофой.

Общая гравитационная, магнитная и температурная "подготовка" биосферы в процессе ее эволюции обеспечила возможность устойчивого существования живых организмов вплоть до переживаемого нами исторического и геологического отрезков времени. В то же время неуклонно возрастающее техногенное энергетическое воздействие на абсолютно все живые организмы на планете, обусловленное увеличивающимся уровнем электромагнитного загрязнения среды в очень широком частотном диапазоне и особенно в области радио- и более высоких частот, застало биосферу "врасплох", не оставив ей времени для эволюционной адаптации. Роль техногенного электромагнитного воздействия оказывается весьма существенной и заслуживает особого внимания еще и потому, что большинство процессов, происходящих в живых организмах и регулирующих их деятельность, относятся к классу электрохимических и электрофизических.

Естественные и техногенные геофизические поля, накладываясь друг на друга, создают вблизи земной поверхности (по обе стороны от нее по вертикали) некую область существования избыточного энергетического потенциала - энергосферу. В ее пределах происходит энергообмен между объектами живой и неживой природы, между Землей и космическим пространством. Многие геологические и биологические процессы подпитываются энергией из этого слоя. И поскольку в настоящее время происходит интенсивная "накачка" энергосферы со стороны располагающего новейшими технологиями человечества, нет ничего удивительного в том, что многие геологические, биологические процессы и изменения экологической обстановки оказываются, с одной стороны, трудно предсказуемыми, а с другой стороны, - зачастую негативными с точки зрения сохранения устойчивости экосистем, самих условий существования жизни.

Следует также иметь в виду, что естественные и техногенные геофизические поля не существуют раздельно, они накладываются друг на друга в соответствии с принципом суперпозиции (наложения).

Завершая рассмотрение общих вопросов, связанных с исследованием геофизической экологической функции литосферы, добавим, что оно может быть представлено тремя взаимосвязанными, но в достаточной степени самостоятельными проблемами: экологическим воздействием геофизических полей на природные и природно-технические экосистемы; техногенным физическим загрязнением литосферы; геопатогенезом. При этом геофизические природные и техногенные физические поля необходимо рассматривать либо с позиций воздействия их на экосистемы и на биоту в целом, либо как фактор техногенного физического загрязнения литосферы, либо в плане возможной связи их с геопатогенезом. Такое представление о геофизической экологической функции литосферы и ее структуре (см.рис. 3) дает возможность определить область, цели и задачи эколого-геофизических исследований.

8.2. Природные геофизические поля и их аномалии

Гравитационное поле и его аномалии

Гравитационное поле Земли следует рассматривать как один из основных видов геофизических полей, хотя в строгом смысле литосфера в ее границах не может считаться источником гравитационного поля ввиду малости вклада в его формирование. Тем не менее о ней следует обязательно упомянуть в этой связи, поскольку именно литосфера непосредственно контактирует с гидросферой и атмосферой. Только благодаря сильному гравитационному полю, на Земле удерживаются гидросфера и атмосфера, обеспечивающие существование жизни.

В целом гравитационное поле Земли характеризуется большой сложностью структуры и пространственной изменчивостью, которые определяются особенностями плотностного разреза, взаимным расположением и размерами гравитирующих тел на фоне общего планетарного поля силы тяжести. Гравитационное поле (ускорение свободного падения) в пределах поверхности планеты изменяется от $9,78 \text{ м/с}^2$ на экваторе до $9,83 \text{ м/с}^2$ на полюсах (табл. 60). На фоне таких закономерных широтных изменений поля силы тяжести могут быть выделены гравитационные аномалии геологической природы, составляющие $(3-30) \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$, и временные вариации, обусловленные приливным воздействием космических тел, и в первую очередь Луны и Солнца, приводящим к периодическим изменениям высотного положения поверхности планеты, а также к медленному перераспределению масс внутри земного шара. Приливные вариации могут достигать $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$, возможная величина вековых изменений силы тяжести в течение года предположительно составляет менее $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$.

В последние годы все большее внимание обращает на себя проявление тех факторов изменения силы тяжести на поверхности литосферы, которые обусловлены инженерной деятельностью человека - извлечением из недр Земли значительного количества ископаемого сырья, искусственным снижением или повышением уровня подземных вод, созданием обширных водохранилищ, строительством крупных городских агломераций. Изменяющаяся в связи с осуществлением подобных мероприятий сила тяжести может в определенной мере отражаться на протекании многих экологически значимых процессов, таких, например, как сейсмотектонические подвижки, обвальные явления, оползне- и карстопроявление, процессы, связанные с проседанием земной поверхности, переработкой берегов крупных водохранилищ. Правомерно говорить об опосредованном через геологические процессы воздействии гравитационных аномалий техногенного происхождения на биоту.

Геомагнитное поле и его аномалии

Магнитное (геомагнитное) поле земли в значительно большей степени зависит от строения и свойств литосферы, поскольку многие источники магнитного поля, вносящие свой вклад в общее геомагнитное поле, располагаются именно

Параметры естественных геофизических полей (составил А.Д.Жигалин)

Вид поля	Величина характеризующего параметра
Магнитное (мЭ)	
Фоновые значения Т	500-618
Вариации	До 10
Наблюдаемые аномалии $\Delta T, \Delta Z$	200-1300
Гравитационное (мГал*)	
Фоновые значения Δg	$(978-983) \cdot 10^3$
Вековые вариации за год	До 0,1
Приливная аномалия Δg	0,345
Наблюдаемые аномалии Δg	30-300
Температурное (°C)	
Наблюдаемые на поверхности значения	От -88 до +58
Границы жизни	От -200 до +100
Электромагнитное (мВ/км)	
Фоновые значения	0,1-10
Вариации	100-200
Наблюдаемые аномалии	До 30-40
Поле грозových разрядов	200-300
Атмосферное электричество (ион/см³)	
Нормальный фон	1000-1400
Воздух в крупных городах	1100-1500
Воздух "электрокурортов"	1800-3700
Воздух вблизи водопадов и прибоя	$(100-200) \cdot 10^3$
Естественные электрические (мВ)	
Фоновые значения	5-100
Диффузионно-адсорбционное	45-100
Фильтрационное	40-200
Меняющиеся во времени	40-400
Электрохимическое (рудные)	20-1800
Ионизирующее излучение (мЗв/год**)	
Фоновые значения	1,2-1,3
Наблюдаемые значения	20-90
Предельно допустимые значения	50

* 1 мГал равен 10^{-5} м/с².

** 1 мЗв/год соответствует 1 мГр или 100 мР/год.

в литосфере. Сама история формирования литосферы самым тесным образом связана с магнитными свойствами пород, с магнитным полем Земли. При этом наблюдаемое на поверхности планеты магнитное поле на 95% обязано своим существованием относительно стабильным источникам, находящимся в ее ядре. И лишь остальные 5% обусловлены иницируемыми солнечной активностью токами и связанными с ними магнитными полями в ионосфере и земной коре.

Земля представляет собой гигантский магнитный диполь, поле которого проявляется на поверхности планеты и выходит далеко в околоземное пространство, создавая так называемую магнитосферу. Многие физические тела на Земле и в том числе некоторые горные породы, слагающие литосферу, обладая некоторым собственным магнетизмом, приобретают под воздействием доминирующего магнитного поля планеты индуцированный магнетизм. Поэтому наблюдаемое на земной поверхности или вблизи нее магнитное поле обусловлено совокупным влиянием множества источников и в том числе источников, располагающихся в объеме литосферы - железорудных тел и горных пород, свойства которых зависят от содержания и распределения в них ферромагнитных материалов, таких как магнетит, титаномагнетит, ильменит, пирротин, гематит и другие.

На фоне нормального геомагнитного поля, составляющего величину 500-618 мЭ (см. табл. 60), выделяются аномалии, обусловленные различными причинами: в одних случаях - скоплением в пределах верхних слоев литосферы горных пород с ярко выраженными магнитными свойствами, в других - как следствие воздействия внешних по отношению к Земле источников на окружающую ее магнитосферу.

В первом случае пространственное положение аномалии остается неизменным, а ее величина изменяется от единиц до 1300 мЭ; во втором случае возможны существенные изменения как пространственного положения, так и амплитуды аномалий.

Хорошо известно, что магнитное поле Земли подвержено медленным изменениям, так называемым вековым вариациям, максимальные величины которых могут достигать нескольких миллиэрстед в год.

Помимо таких "медленных" вариаций, наблюдаются более сжатые во времени (до нескольких часов или двух-трех суток) изменения геомагнитного поля - магнитные бури. Во время прохождения магнитных бурь изменение магнитного поля может составлять 10 мЭ.

Температурное поле и его аномалии

Земля представляет собой гигантскую энергетическую машину, в которой различные виды энергии - упругой, гравитационного сжатия, приливного трения и радиоактивного распада - превращаются тем или иным путем в тепловую

* Принятая в геофизике единица измерения напряженности магнитного поля миллиэрстед; 1 мЭ приблизительно равен 0,08 А/м. В настоящее время используется единица нанотесла (нТл), 1 мЭ = 100 нТл.

энергию, обуславливая температурный режим ее недр. Тепловое состояние Земли и закономерности его изменения определяются общим тепловым балансом массивов горных пород, зависящим от распределения приходящей энергии. Распределение энергии, в свою очередь, обусловлено рядом глобальных, региональных и локальных особенностей строения планеты и приповерхностных ее частей. Температурный режим верхней части земной коры устанавливается в энергетическом взаимодействии Земли с Солнцем и космическим пространством, с одной стороны, и, с другой стороны, с источниками тепловой энергии, расположенными во внутренних сферах планеты.

Распределение температуры и источников тепла в недрах планеты и в приповерхностной ее части имеет фундаментальное значение. Действительно, все свойства вещества Земли на всех ее структурных "этажах", будь то вязкость, упругость, электропроводность, намагниченность, играющие важную роль в формировании геофизических полей, частично, а иногда и в значительной мере зависят от температуры на той глубине, где это вещество находится. Совокупность источников тепловой энергии формирует не только тепловой режим грунтовой толщи, залегающей вблизи поверхности Земли, но и климат, а также условия, пригодные для существования живых организмов.

Источниками, поддерживающими температурное поле Земли (геотемпературное поле) в целом и в пределах верхних ее слоев - литосферы, являются внешние (космические) и внутренние (планетарные) процессы. К числу внешних процессов относятся солнечная радиация, излучение звезд, энергия метеоритов, падающих на Землю, гравитационное воздействие Луны и Солнца. Внутренними источниками тепловой энергии являются ядерные реакции внутри Земли и в первую очередь в пределах литосферы, гравитационная дифференциация вещества внутри планеты, замедление скорости ее вращения, экзотермические (идущие с выделением тепла) химические реакции, кристаллизационные и полиморфические трансформации и фазовые переходы, приливное трение, релаксация упругих напряжений и тектонические движения.

Внутренние (планетарные) источники тепловой энергии, уступая по мощности солнечному излучению, превосходят остальные космические источники. Основным внутренним источником тепла являются ядерные реакции. Мощность этого источника, составляющая $18,0 \cdot 10^{20}$ Дж/год, приблизительно в 1,5 раза превышает суммарную мощность всех остальных планетарных источников тепловой энергии.

Для самой верхней части литосферы приобретают все большее значение техногенные источники тепловой энергии. Мощность такого рода источников на несколько порядков меньше мощности планетарных источников и мощности солнечного излучения. Но занимая всего около 5-10% территории суши, они, как правило, сосредоточены в ограниченном объеме литосферного пространства - в субстрате промышленно-городских агломераций и других интенсивно используемых территорий. Поэтому генерируемый ими тепловой поток может оказаться соизмеримым с тепловым потоком, обусловленным наличием более мощных планетарных источников тепла. Более того, в пределах территории больших городов и про-

мышленно-городских агломерации суммарный поток из недр составляет всего около 28% общего теплового потока, достигающего земной поверхности, тогда как примерно 72% его приходится на долю техногенеза, оказывающего существенное тепловое воздействие на окружающее литосферное пространство и связанную с ним биосферу.

Таким образом, в формировании температурного поля в верхних слоях литосферы, где оно является существенным экологическим фактором, принимают самое непосредственное участие как естественные источники, находящиеся вне и внутри Земли, так и искусственные, располагающиеся непосредственно в пределах самой верхней освоенной человеком части литосферы.

Электрические и электромагнитные поля и их аномалии

В литосферном пространстве Земли существуют многообразные электрические и электромагнитные поля, различающиеся по своей природе и интенсивности проявления. По генетическому признаку источники, создающие поля электрических токов, подразделяются на естественные и искусственные (техногенные), а по отношению к литосферному пространству как среде-носителю - на внешние и внутренние.

Природа электрических полей разнообразна. Это, с одной стороны, естественные поля природных электронных проводников, фильтрационные и термофиль-трационные, диффузионные, теллурических токов и грозových разрядов. С другой стороны, существуют поля электрических токов техногенного происхождения, создаваемых человеком в процессе реализации современных технологий.

Электромагнитное поле Земли естественного происхождения проявляется в виде разнопериодных электромагнитных колебаний (вариаций), частотный спектр которых представлен полосой от 10^{-4} до 10^2 Гц. Интенсивность (амплитуда) вариаций зависит от солнечной активности, географического положения и геологического строения места наблюдения. Амплитуда вариаций электрической составляющей естественного электромагнитного (магнитотеллурического) поля может достигать 100-200 мВ/км (см. табл. 59) при средних значениях 30-40 мВ/км и фоновом уровне 0,1-10,0 мВ/км.

Особенности геологического строения в большей степени отражаются на поведении электрической составляющей электромагнитного поля как более чувствительной к гетерогенности строения литосферы, но, хотя и слабее, проявляются также в поведении магнитной составляющей. Максимумы интенсивности вариаций естественного электромагнитного поля приходятся на годы солнечной активности.

Электрическая составляющая электромагнитного поля любого генезиса весьма чувствительна к геологическим неоднородностям в строении земной коры, связанным с изменением электропроводности горных пород. Как следствие этого, все без исключения тектонические элементы оказываются отображенными в аномалиях электрической составляющей естественных электромагнитных полей. По-

скольку аномалии электромагнитных полей, сопутствующие структурным элементам литосферы, могут вдвое и более того, превышать фоновый уровень, интерес к ним с экологических позиций как к фактору, могущему влиять на условия жизни, достаточно велик.

Хорошо известны естественные электрические поля электрохимической, термофильтрационной, фильтрационной и другой природы, которые можно относить к категории квазипостоянных или медленно меняющихся полей. Электрические поля, наблюдаемые на поверхности Земли и обязанные своим существованием протеканию в реальных геолого-геохимических условиях рудных и некоторых других месторождений электрохимических окислительно-восстановительных процессов, могут создавать естественные потенциалы в пределах 20-1800 мВ при фоновых значениях, характерных для естественных электрических полей разной природы, 5-100 мВ.

Особый вид земных электрических полей представляют термофильтрационные поля, возникающие в породах различного типа, за исключением рыхлых песчано-глинистых водонасыщенных образований. Идентификационный признак полей этого вида - изменение электрического потенциала в зависимости от суточных вариаций температуры в приповерхностной части геологического разреза от 40 до 400 мВ (см. табл. 60).

Естественное электрическое поле фильтрации обусловлено движением подземных вод через пористые горные породы. Своим происхождением электрофильтрационные поля обязаны существованию двойного электрического слоя на границе твердой и жидкой фаз горной породы, рассматриваемой в данном случае в качестве двухфазной системы. Величина потенциала фильтрации может достигать 40-200 мВ и зависит от целого ряда факторов: перепада давления в фильтрующем пласте, электрического сопротивления фильтрата, подстилающих и перекрывающих водопроницаемый слой горных пород, вязкости флюида, а также структурных особенностей геологического пространства, в пределах которого реализуется процесс фильтрации. Электрические фильтрационные поля обнаруживают, как правило, устойчивую связь с геоморфологической и литолого-гидрогеологической обстановкой областей, где они наблюдаются.

В пределах верхней части литосферы весьма часто можно наблюдать условия, благоприятные для появления диффузионно-адсорбционных потенциалов, возникающих на контактах пород разного литологического состава или вследствие изменения химического состава вод, насыщающих породы одной и той же литологической разности. Как правило, диффузионно-адсорбционные электрические поля, величина потенциала которых может достигать 100 мВ (см. табл. 60), наблюдаются на поверхности в области контактов песчаных и глинистых пород, а также в пределах участков смены минерализации подземных вод.

Весьма существенную роль в формировании энергетического пояса вблизи поверхности Земли играет атмосферное электричество (электростатическое поле), играющее большую роль и в качестве экологического фактора. Атмосферное

электричество проявляет себя в виде следующих наблюдаемых нами феноменов: молний, "сухих" грозových разрядов (зарниц), огней св. Эльма*.

В случае электростатического поля Земли мы имеем дело с гигантским конденсатором, обкладками которого являются земная поверхность и слой ионосферы. Силовые линии поля атмосферного электричества направлены сверху от положительно заряженных слоев ионосферы вниз к отрицательно заряженной поверхности планеты. Движение положительных зарядов вниз и встречное движение отрицательных зарядов приводит к возникновению тока проводимости, средняя величина плотности которого составляет приблизительно $2,9 \cdot 10^{-20} \text{ А/м}^2$. Между атмосферой и поверхностью Земли существует разность потенциалов, составляющая у поверхности Земли величину 100 В/м, могущая, однако, во время гроз достигать 40 кВ/м.

В атмосфере всегда наличествуют ионы (аэроионы) обоих знаков (полярностей). В среднем на 1 м^2 поверхности планеты приходится примерно $6,7 \cdot 10^9$ элементарных зарядов. Измерения показывают, что в большинстве случаев преобладают положительные аэроионы. Количественно соотношение аэроионов обеих полярностей оценивается по величине так называемого коэффициента униполярности - безразмерного отношения числа положительных аэроионов к числу отрицательных ($q = n^+/n^-$). При средней концентрации положительных ионов 800 ион/см³ и отрицательных ионов 700 ион/см³ величина q составляет 1,14.

Наблюдения показывают, что в нормальных условиях в 1 см^3 воздуха в приповерхностном слое атмосферы содержится 1000-1400 аэроионов обоих знаков (см. табл. 59). В крупных городах удельное содержание аэроионов увеличивается до 1500 в 1 см^3 и, что имеет большое значение с позиций экологии, в основном за счет "тяжелых" аэроионов, оказывающих вредное воздействие на живые организмы. Значительное увеличение числа ионов наблюдается в атмосфере так называемых "электрокурортов" - до 3700 ион/см³, а также вблизи водопадов и в зоне морского прибоя - 50-100 тыс. ион/см³. При этом соотношение количества положительных и отрицательных аэроионов варьирует, что отражается на коэффициенте униполярности, который изменяется от 1,0 в местностях, относимых к "электрокурортам", до 1,25 в крупных городах, промышленных центрах и т.п.

Хотя из названия "атмосферное электричество" следует, что упоминаемое электростатическое поле присуще атмосфере, тем не менее роль литосферы в формировании поля этого вида достаточно велика. Насыщение воздуха ионами происходит вследствие распада радиоактивных веществ, находящихся в воде, почве и горных породах. Радиоактивное излучение почвы и горных пород является, наряду с космическим и солнечным корпускулярным видами излучения, естественным ионизатором воздуха в приземном слое атмосферы. Локальными ионизаторами служат гранитные породы, сланцы, металлические руды, не говоря уже об урансодержащих горных породах.

* Огни св. Эльма - наблюдаемое стекание земного электричества с различных острий, например, вершин гор, мачт кораблей, пальцев руки человека и т.п.

Поле ионизирующего излучения

Поле ионизирующего излучения (чаще его называют радиационным полем, или полем радиоактивности), наблюдаемое на поверхности Земли, имеет двойную природу. В формировании нормального радиационного фона, с одной стороны, большую, хотя и не самую главную, роль играет излучение, приходящее к поверхности планеты извне, из дальнего Космоса и околоземного пространства. С другой стороны, основная часть радиационного фона вблизи поверхности Земли обязана своим происхождением наличию в верхней части литосферы (в земной коре) радиоактивных веществ и процессу дегазации планеты, в ходе которого на поверхность ее выносятся большое количество радиоактивных газов - радона-222 и торона (радона-220).

Космический фон, на долю которого приходится всего около 12% общего уровня радиоактивности, характеризуется мощностью дозы излучения в 0,03-0,06 мкГр/ч (3-6 мкР/ч). В высокогорье космический радиационный фон возрастает на 0,015 мкГр/ч (1,5 мкР/ч) на каждый километр превышения отметки рельефа местности.

Нормальная радиоактивность горных пород обусловлена кларковым содержанием в ней радионуклидов (радиоактивных элементов). "Нормальными" в радиационном отношении принято считать горные породы, в которых содержание радиоактивных элементов урана-238 (продуктом распада которого является радон-222) и тория-232 (в результате распада которого образуется радон-220, или торон) не превышает 2,5 г/т (2,5 кларка). Содержание урана в породах в количестве 0,001% создает аномалию радиоактивности, характеризующуюся мощностью дозы излучения в 0,05 мкГр/ч (5 мкР/ч), а повышение содержания до 2% обуславливает поле радиации на уровне 100 мкГр/ч (10 000 мкР/ч). Радиационный фон в угольных и других "неурановых" шахтах фиксируется на уровне 0,04-0,06 мкГр/ч (4-6 мкР/ч), но может достигать 2,97 мкГр/ч (297 мкР/ч).

Горные породы, такие как известняки, доломиты, ультраосновные магматические породы создают поле в $n \cdot 0,01$ мкГр/ч, кислые магматические породы, некоторые глинистые породы и поверхностные моренные отложения - на порядок выше - в $n \cdot 0,1$ мкГр/ч.

К зонам повышенного риска относятся регионы, где на поверхность Земли выходят граниты, гнейсы, вулканические туфы, фосфориты и другие породы, содержание урана и тория в которых может достигать 100 г/т (100 кларков) и более. Эманирование радона существенно повышается там, где горные породы дезинтегрированы, т.е. в зонах разломов, выветривания, трещиноватости. Повышенное выделение радона из почвы наблюдается также в сейсмически активных областях.

* Грей (Гр) - единица измерения дозы излучения в Международной системе единиц СИ. 1 Гр = 100 Р.

8.3. Техногенные геофизические поля и их аномалии

Природа и значение техногенных геофизических полей

Техногенные геофизические поля, как правило, обусловлены "отходами" промышленного производства, побочным продуктом современных технологий. Литосфера по отношению к полям такого вида является средой-носителем и передатчиком энергии от источника поля к объекту воздействия. При этом может иметь место как раздельная, так и комплексная реализация этого ее качества. В этом смысле можно говорить о техногенных геофизических полях литосферы. Если объектом воздействия являются живые организмы и в том числе человек, техногенные геофизические поля приобретают значение экологического фактора, попадают в поле зрения экологической геофизики и становятся предметом анализа при изучении геофизической экологической функции литосферы.

Механизм реализации техногенного воздействия и передачи его от источника к объекту воздействия через антропогенные геофизические поля прослеживается в трех видах взаимодействия, представляющих собой три этапа "перемещения" энергии на пути от источника к объекту, на каждом из которых литосфера играет определенную роль. Первый из них представляет собой передачу энергии от действующего источника к среде (в том числе к литосфере). На этом этапе литосфера выступает в качестве объекта воздействия и воспринимает поступающую от источника энергию.

Второй вид взаимодействия предполагает взаимодействие отдельных компонентов среды (геологического компонента, а также биоты и объектов техносферы) между собой. Именно на этом этапе обнаруживаются свойства литосферы быть носителем, аккумулятором или транслятором поступившей энергии. При этом среда претерпевает определенные (иногда весьма существенные) изменения и одновременно накапливает потенциал вторичного воздействия, т.е. готовится быть уже сама источником воздействия на объекты, генетически или технологически связанные с ней.

Третий вид взаимодействия являет собой передачу избыточной энергии от измененной среды, которая теперь, как говорилось выше, играет роль источника, к объектам техносферы или биосферы. На этом этапе накопленные в среде количественные энергетические изменения переходят в качественные изменения объектов, подвергающихся вторичному воздействию со стороны среды.

Воздействию могут подвергаться объекты как косной, по определению В.И.Вернадского, так и живой природы. Если объектом воздействия является "неживой" компонент экосистемы (геологические и технические объекты), то "экологический" отклик на воздействие как бы откладывается до момента достижения такого уровня активации системы, когда нарушение равновесного состояния природно-технической экосистемы, нарушение функционирования или деструкция отдельных объектов достигнут угрожающей степени. Если количественные энергетические изменения, наблюдаемые в верхних слоях литосферы, наследуются

происходящими в ней процессами, представляющими угрозу для биоты и людей, проявляется "экологический" эффект действия техногенных геофизических полей, для которых литосфера является средой-носителем.

Природа техногенных геофизических полей предполагает, что наиболее высокие уровни их достигаются в пределах промышленно освоенных территорий и территорий крупных городских агломераций. Потенциал техногенного воздействия на городскую среду и городские природно-технические экосистемы формируется с момента возникновения городского поселения и существует на всем историческом пути его развития. По мере укрупнения городов, развития и усложнения их инфраструктуры этот потенциал неизбежно возрастает. Городские жители и жители промышленных центров становятся узниками сложного лабиринта геофизических полей, которые ощутимо влияют на все компоненты городской среды и на них самих. Это обстоятельство ставит техногенное воздействие, опосредованное через искусственные геофизические поля, в ряд значимых экологических факторов.

Характеристики техногенных геофизических полей

Техногенные геофизические поля, как и их природные аналоги, имеют тесную связь с геологическим строением верхних слоев литосферы до глубины проникновения влияния человека. Речь идет в большинстве случаев о слое мощностью 50-300 м, в пределах которого изменения, вносимые техногенными геофизическими полями в энергетику геологического пространства, могут оказаться наиболее

Таблица 61

Сравнительные характеристики естественных и техногенных физических полей

Вид поля	Уровень поля			
	фоновый	создаваемый	санитарный предел	технический предел
Акустическое, дБ(А)	25-30	80-120	45-60	—
Статическое, МПа	0,1	0,01-2,0	0,2	1,8-7,5*
Вибрационное, мм/с	0,02-0,50	0,02-16,0	0,12	0,20-0,40
Температурное, °С	-2 ... +10	-160 ... +1500	16-24**	—
Электрическое:				
блуждающие токи, мВ/м	5-10	10-300	—	3-5
атмосферное электричество, 10^{-10} / 10^{-11} кулон/м	1,15-1,2	1,0-1,5	—	—
Электромагнитное, кВ/м	10^{-6}	2,5-10,0	5,0	—
Радиационное, мЗв/год***	0,3-2,2	1,6	2,1	—

*Для грунтов в основании фундаментов.

**Санитарные нормы для служебных и жилых помещений.

***1 мЗв = 1 мГр = 100 мР.

заметными. Сравнение характеристик техногенных геофизических полей с соответствующими параметрами их природных аналогов показывает, что, как правило, они по уровню в несколько раз, а иногда и на несколько порядков превосходят фоновые (природные) уровни, что видно из табл. 61. Необходимо подчеркнуть, что роль геофизических полей как экологического фактора возрастает в пределах промышленно-городских агломераций, где наблюдается максимальная концентрация населения и где наибольшей остроты достигают противоречия в отношениях между техносферой и биосферой.

8.4. О взаимодействии природных геофизических, техногенных и ионосферных полей и его экологическом значении

Природные геофизические поля и поля техногенные достаточно тесно взаимодействуют друг с другом в верхней части литосферы. Многие из них взаимодействуют с космическими полями, в частности, с полями ионосферного происхождения. Ф.А.Летников (1998), исследовавший эти вопросы, по этому поводу писал: "Ученым предстоит прежде всего выяснить количественные параметры кооперативного взаимодействия полей, генерируемых различными источниками, определить динамику этих процессов, вероятность протекания явлений самоорганизации в ходе такого взаимодействия с формированием пространственно-временных структур, генерирующих собственные поля и излучения. Итогом станет выявление степени кооперативного воздействия этих полей на биологические объекты от единичной клетки до организма человека". Он выделяет в рассматриваемом аспекте три типа взаимодействия полей.

Первый тип взаимодействий обусловлен перетоком энергии между глубинами Земли и ионосферой по зонам глубинных разломов или же высокоградиентными системами на контактах геологических тел с различными физическими свойствами.

Многолетнее изучение зон глубинных разломов показало, что некоторые из них оказываются генераторами потоков ионизированных частиц и низкочастотного электромагнитного излучения. Ф.А.Летниковым подчеркнуто, что такие разломы формируются при высоких температурах и давлении; при постепенном остывании вещества в таких зонах происходит его дифференциация, и породы приобретают тонкоплосчатую структуру. Токопроводящие прослойки, сложенные одной группой минералов, включающей железо, титан, марганец, магний, чередуются со слоями диэлектриков, образованными минералами группы кремния, алюминия, калия и натрия. В недрах земной коры возникают гигантские по размерам флюидизированные конденсаторы шириной до 10-15 км и протяженностью до нескольких сот километров. Над такими активными геологическими структурами фиксируются проникающие высоко в атмосферу потоки ионизированных частиц, электромагнитные низкочастотные излучения, а также газовые эманации и инфраволны. Мощность этих линейных полей бывает настолько велика, что в относи-

тельно спокойном атмосферном режиме они экранируют прохождение кучевых облаков, а над ними происходит размытие покрова сплошных облачных масс, хорошо наблюдаемое на космических снимках. Случалось, что подобные надразломные системы экранировали прохождение обратного сигнала локаторных станций (например, на Алтае).

Взаимодействие геофизических и ионосферных полей обуславливает формирование светящихся образований над зонами глубинных разломов. Ф.А.Летников в качестве примера привел сведения о том, что на обширных площадях азиатской части России с 21 по 23 октября 1981 г. сетью метеостанций, геофизических и астрономических пунктов и отдельными наблюдениями было зафиксировано свечение неба, принятое наблюдателями за "полярное сияние". Позже А.Н.Дмитриев (1998) показал, что подобные сияния в основном располагались над крупными разломами. И они же совпали по времени с сильнейшими возмущениями магнитного поля. Самые яркие сияния во всем временном интервале геомагнитного возмущения оказались приуроченными к геологическим структурам Горного Алтая, к одному из его хребтов. Такие явления А.Н.Дмитриев назвал "терро-космическими". Эти и другие результаты взаимодействия полей разной природы показаны на рис. 34, 35.

Такие взаимодействия (первого типа) отвечают, по мнению Ф.А.Летникова, "ситуации перетока энергии между двумя энергоактивными зонами: астеносферой в недрах Земли и ионосферой, окружающей планету. Энергия переносится

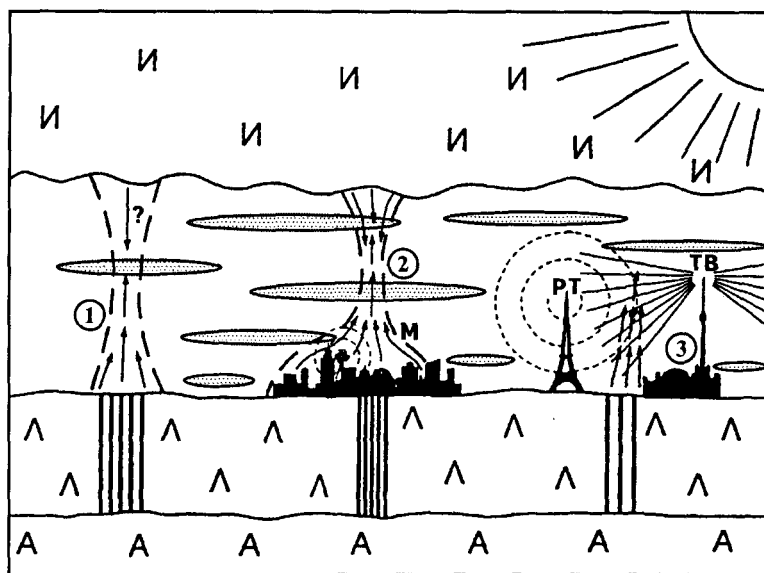


Рис. 34. Взаимодействия земных, ионосферных и техногенных систем
(по Ф.А.Летникову, 1998)

А – астеносфера; Л – литосфера; И – ионосфера. Тонким крапом обозначены протяженные “облака” атмосферного электричества. 1-3 – взаимодействие в системе соответственно “разлом–ионосфера”, “разлом–мегаполис (М)–ионосфера”, “разлом–радиотранслятор (РТ)–телетранслятор (ТВ)”

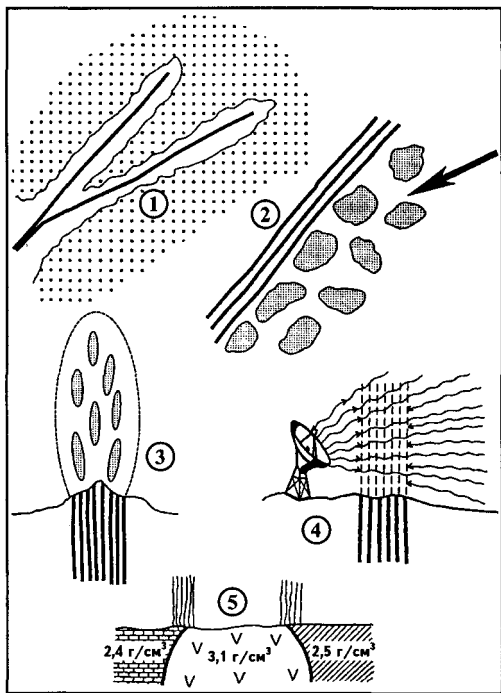


Рис. 35. Наиболее типичные проявления аномальных свойств геологическими структурами Земли (по Ф.А.Летникову, 1998)

1 – размывание облачности над зонами глубинных разломов; 2 – экранирование глубинным разломом прохождения кучевых облаков (стрелкой показано направление ветра); 3 – светящиеся образования над зоной глубинного разлома; 4 – экранирование обратного сигнала радиолокационной станции над зоной глубинного разлома; 5 – резкоградиентные зоны на контактах разнородных геологических тел

в соответствии с градиентом температур. Поскольку астеносфера обладает более высоким энергетическим потенциалом, перенос энергии над зонами разломов в приземном слое атмосферы должен быть направлен вверх от поверхности Земли.

Особенно интересно формирование высокоградиентных зон на границах геологических тел, отличающихся по плотностным и другим параметрам. На расстоянии в несколько сот метров постоянно существует перепад гравитационных, магнитных и электромагнитных параметров. Возникает колебательная система с часовыми, суточными и более длительными периодами смены многих геофизических параметров. Такой режим, несомненно, скажется на самочувствии людей. Еще больше это будет проявляться при глобальных возмущениях планетарных полей, во взаимодействии с которыми функционируют данные структуры".

Второй тип обусловлен характером и степенью взаимодействия геомагнитного поля Земли с канальными природными или техногенными полями. Они вызывают возмущение геомагнитного поля и существенно сказываются на состоянии биоты в целом и человека, в частности.

Третий тип - это взаимодействие электромагнитных, магнитных и других природных полей с техногенными полями. Это приводит, по Ф.А.Летникову, к возникновению нового электромагнитного поля с абсолютно новыми свойствами, которых не было у "первичных" полей. Особую опасность в этом плане представляет близость техногенных источников электромагнитных излучений и зон глубинных разломов, подпитываемых электрической энергией в пределах городов. Взаимодействие полей этих двух источников может вызвать возникновение самостоятельных пространственно-временных структур, генерирующих собственные поля совсем с другими частотными характеристиками (см. рис. 35).

Завершая рассмотрение вопроса о взаимодействии природных геофизических, техногенных и ионосферных полей, следует подчеркнуть два принципиально важных положения. Оба они связаны с влиянием таких взаимодействий на человека.

Первое. Как пишет академик Ф.А.Летников (1998), с точки зрения физики и электрохимии человек - электролитическая батарея, состоящая на 70-75% из электролита (кровь, лимфа, различные жидкости и т.д.). Это открытая, динамическая, неравновесная, самоорганизующаяся система. Она существует только при условии обмена с окружающей средой, веществом и энергией. Все живые организмы - носители биоэлектрических и биоманнитных полей. Изменение динамических и энергетических параметров этих полей может привести к развитию необратимых явлений, десинхронизации отдельных органов и рассогласованности биоритмов человека.

Второе. Особенно опасны, по мнению Ф.А.Летникова, для человека синергетические эффекты при взаимодействии космических и геофизических полей природного (геологического) и техногенного происхождения, когда мощность резонатора многократно превосходит суммарный энергетический потенциал породивших его систем. Такие ситуации характерны для современных мегаполисов с весьма высоким уровнем потребления энергии, где происходит генерация полей различной природы и их кооперативное, синергетическое воздействие на человека. Доказано, что такие поля с аномальными энергетическими характеристиками непосредственно воздействуют на кору головного мозга и высшую нервную деятельность, разрушая иммунную систему человека. Назрела проблема разумного ограничения и регулирования этих воздействий, установления квот для работы источников электромагнитной энергии. Суммарная напряженность электромагнитных полей различной природы и прочих низкочастотных воздействий не должна превышать критических величин или пороговых значений.

Изложенные факты привели Ф.А.Летникова к выводу о необходимости создания общегосударственной или международной программы исследования этой проблемы, в которой участвовали бы ученые разных специальностей - от геологов до медиков. Только в объединении усилий научного сообщества он видит возможность разрешить критическую ситуацию, возникшую перед человечеством на пороге XXI в.

8.5. Влияние геофизических неоднородностей литосферы на живые организмы и человека

Влияние различных геофизических полей на живые организмы

До самого недавнего времени вопросы, касающиеся экологической роли природных Земле (геофизических) полей, практически геологами не рассматривались. Доминировали представления о том, что жизнь на планете всецело определяется и поддерживается, в основном, поступлением солнечной энергии и энергии кос-

мического излучения. Земле же отводилась роль "носителя" биосферы. Возникновение многогранной экологической проблемы заставило по-новому взглянуть на многие казалось бы тривиальные вещи и в том числе на неоднородности геофизических полей, рассматривая их не только с геологических позиций, но и с точки зрения их энергетического воздействия на биоту и человека.

Неоднородности геофизических полей являются, в подавляющем большинстве случаев, раздражающим фактором, не приводящим, как правило, к серьезным экологическим последствиям. Однако при достижении определенного уровня интенсивности (например, в модификации техногенных геофизических полей) они могут становиться также и поражающим фактором. Восприятие человеческим организмом оказываемого на него воздействия начинает сказываться при уровне интенсивности сигнала любого происхождения в пределах от 10^{-12} до 10^{-2} Вт/м.

Энергетическое воздействие геофизических полей на живые организмы можно представить в виде суперпозиции двух составляющих - квазипостоянной, обусловленной действием, если и изменяющихся, то в относительно небольших пределах и с большими (даже в геологическом исчислении времени) периодами цикличности, геофизических полей естественной природы, и переменной, зависящей от ритмики Вселенной и связанной с вращением Земли вокруг своей оси, обращением ее вокруг Солнца и взаимодействием со своим спутником - Луной и другими планетами Солнечной системы. Воздействие геофизических ритмов на живые организмы, сопровождавшее их на протяжении всей истории существования биосферы, привело к тому, что жизненные процессы в биоте оказались целиком подчиненными этим ритмам. С экологических позиций большой интерес вызывают периодические вариации геофизических полей, частотный спектр которых соотносится с биоритмами живых организмов.

Временной спектр колебательных процессов жизнедеятельности достаточно широк и простирается от периодов в единицы миллисекунд до многих лет, образуя систему взаимоувязанных годовых, сезонных, месячных, суточных, часовых, минутных и секундных биоритмов. Для биоты и человека хорошо изучен целый ряд ритмических физиологических процессов, которые протекают как на клеточном уровне, так и на уровне отдельных органов и организма в целом. Среди этих процессов - концентрированные колебания нейтральных молекул, ионов и химических веществ в клетках и тканях, мембранные процессы, колебания электрической активности и возбудимости тканей, ритмические изменения нейронной и мультিকлеточной активности, концентрационные колебания ферментов, гормонов, элементов крови и различных других биологических компонентов. У человека с действием геофизических полей связаны также и мозговые ритмы, сосудистые волны, изменения вегетативных физиологических параметров, психических функций и т.д.

В качестве примера воздействия геофизических полей на живые организмы в процессе их эволюции можно привести данные изучения вариаций *магнитного* поля Земли с периодом 8000, 600, 60, 22 и 11 лет. Было установлено, что размеры скелета животных и человека увеличиваются в периоды уменьшения интенсивности магнитного поля в 8000-летнем цикле. Эти периоды акселерации наблюдались

дважды - с VI тысячелетия до н.э. до середины IV тысячелетия до н.э. и с середины I тысячелетия н.э. по настоящее время. Волнообразные изменения численности населения хорошо коррелируются с 600-летним циклом вариаций магнитного поля, а изменение роста человека - с 60-летним и 22-летним циклами, последний из которых представляет собой "полный магнитный цикл" - цикл смены магнитной полярности Солнца.

Особенности влияния геофизических полей на живые организмы обусловлены не только пространственно-временной структурой этих полей, но и особенностями строения организмов. Так, способность организмов реагировать на электромагнитное поле Земли может быть обусловлена наличием у них в клетках скоплений магнетита органического происхождения. Такие скопления обнаружены у голубей, пчел, моллюсков и у человека. Кроме того, организм сам является источником магнитного поля, которое может взаимодействовать с внешним полем. Магнитные поля живого организма вызываются ионными биотоками, мельчайшими ферромагнитными частицами, попавшими в организм случайным образом, и неоднородностью магнитной восприимчивости различных органов и тканей, которая проявляет себя в условиях наложения внешнего магнитного поля. В табл. 62, составленной А.Д.Жигалиным по данным В.Л.Введенского и В.И.Ожогина (1984), проведено сравнение уровней сигналов геомагнитного поля и магнитного поля живых организмов. Как видно из этих данных, магнитное поле живых организмов крайне мало по сравнению с геомагнитным полем и в силу этого может подпасть под влияние даже очень слабых изменений последнего. Более того, установлено, что уменьшение действующего магнитного поля на четыре-пять порядков приводит к гибели клеток.

В дополнение приведем мнение о влиянии геомагнитного поля и его вариаций на живое, высказанное Ф.А.Летниковым (1998): "Геомагнитное поле Земли (ГМП) - среда обитания всех живых организмов. Человек с его развитым многофункциональным мозгом и тонкой организацией высшей нервной деятельности наиболее чутко реагирует на возмущения ГМП, особенно, если эти возмущения осложняются воздействиями других полей, в частности, техногенных.

С точки зрения синергетики естественное геомагнитное поле с момента возникновения клетки стало тем информационно-энергетическим стационарным полем, в котором и происходили процессы жизнедеятельности. По данным палеонтологов,

Таблица 62

Сопоставление величины геомагнитного поля и магнитного поля живых организмов

Геомагнитные поля (Тл)	Магнитные поля организма (Тл)
Поле Земли (10^{-4})	Поле ферромагнитных частиц организма ($10^{-9} - 10^{-10}$)
Городской "шум" (10^{-7})	Поля мышечных тканей, сердца ($10^{-10} - 10^{-11}$)
Геомагнитный "шум" ($10^{-10} - 10^{-11}$)	Поля мозга ($10^{-11} - 10^{-12}$); вызванные ответы мозга ($10^{-12} - 10^{-13}$)

инверсии магнитных полюсов приводили к катастрофическому вымиранию многих видов еще и потому, что ГМП - это носитель информации об окружающем пространстве. Способность воспринимать такую информацию потеряна человеком, но хорошо выражена у микроорганизмов, растений, птиц, рыб, обитателей морей и океанов и т.д. Именно геомагнитное поле в равной мере, как и кислородная атмосфера Земли, - среда обитания человека. Длительное экранирование его от воздействия ГМП приводит к негативным, иногда необратимым, последствиям. Процессы саморегуляции, сохранения гомеостаза в различных стационарных системах человека опираются не только на физико-химические процессы, протекающие в его организме, но и на развитую систему высшей нервной деятельности. Поэтому человек обладает большим числом степеней свободы, более гибким приспособлением к изменению среды обитания, в том числе и ГМП. Впрочем, именно изменения естественно-го геомагнитного поля переносятся им наиболее болезненно".

Наличие сильного *гравитационного* поля не только позволяет Земле удерживать вокруг себя мощный газовый слой (атмосферу) и водную оболочку (гидросферу), обеспечивать круговорот воды и движение ледовых масс по поверхности планеты, но и является одновременно одним из основных факторов, определяющих активность геологических и биологических процессов, обеспечивающих существование жизни. Гравитационная зависимость живых организмов оценивается по характеру их реакции на изменение величины и направления вектора поля тяготения. Гравитационное воздействие становится потенциально значимым уже для тканевых клеток и микроорганизмов, размеры которых превышают 10 мкм. Однако для насекомых и для других мелких биологических объектов физиологическое значение гравитации несущественно, поскольку они без видимых последствий способны переносить стократные перегрузки.

Для крупных представителей животного мира, в том числе и для человека, изменения величины и направления действия поля тяготения являются дестабилизирующими факторами. Так, при значительном увеличении поля силы тяжести уменьшается двигательная активность, снижается количество выводимой из организма жидкости, содержание азота и калия.

В то же время наблюдается увеличение количества потребляемой пищи и энергии, возрастает содержание в организме воды, натрия, кальция и фосфора. Обратное по знаку изменение гравитационного поля приводит к уменьшению потребности в пище и энергии, снижению количества воды в организме, содержания натрия, кальция и фосфора. Конечно, такого рода изменения в полной мере проявляются при значительных вариациях силы притяжения, которые могут иметь место, например, при осуществлении космических полетов или при специальных испытаниях на центрифуге. Однако не исключено, что подобные эффекты, хотя и в меньшей степени, могут проявляться в условиях "земных" вариаций гравитации, которые сопутствуют перемещениям вдоль линии меридиана из средних широт в высокие и наоборот, а также изменению высоты над уровнем моря.

Температура вблизи поверхности Земли колеблется от -88 до +58°C. Это говорит о том, что средняя температура, при которой протекают жизненные процессы и кото-

рая составляет от 0 до +40°C, практически всегда поддерживалась на большей части земной поверхности в течение геологически длительного времени. Современные исследования показывают, что температурные границы жизни простираются от -200 до +100°C.

Большую роль в жизнеобеспечении играет температурный режим поверхностных и подземных вод. При повышении температуры воды могут происходить нарушения естественного равновесия экологических систем водоемов и водотоков. Так, летальные (пороговые) значения температуры для некоторых промысловых рыб в реках и водоемах составляют 37,0-37,8°C, а для большинства водных организмов это 25-35°C. Для синезеленых водорослей верхним пределом служит температура 80°C. Для микроорганизмов лимитирующими оказываются значения температуры 80-100°C. Верхние предельные значения температуры являются более критическими, чем нижние, хотя многие организмы вблизи верхнего предела толерантности функционируют с повышенной интенсивностью. Одно и то же превышение естественной температуры воды над нормальными значениями может в зависимости от местных условий оказывать как отрицательное, так и положительное влияние на биологические процессы. Повышение температуры воды до определенных пределов может даже стимулировать жизнедеятельность флоры и фауны открытых водоемов, поскольку в ответ на изменение внешних условий экологическое равновесие через некоторое время устанавливается на новом уровне.

В то же время температурное поле является одним из факторов, определяющих границу гомеостаза, а значит и пределов выживаемости биоты. И в этом плане область гомеостаза представляется достаточно узкой. Так, понижение средней температуры на поверхности планеты на 3-4°C или повышение ее на 3-3,5°C грозит последствиями, с которыми современная цивилизация может и не справиться. В первом случае такими последствиями может быть образование на Земле обширного ледяного панциря и значительное сокращение количества свободной воды, во втором, наоборот, вода может покрыть огромные пространства и резко сократить места проживания для тех представителей животного и растительного мира, которые приспособлены к "сухопутной" жизни.

Электромагнитное воздействие на биосферу рассматривается обычно как фактор прямого экологического действия. Длительное систематическое воздействие интенсивных электромагнитных полей промышленной частоты и радиочастот на человеческий организм может вызвать серьезные осложнения в функционировании практически всех жизнеобеспечивающих систем, поскольку электромагнитные поля влияют на биологические процессы в живых организмах, начиная с клеточного уровня. Следует иметь в виду, что создаваемый солнцем поток электромагнитного излучения на доминирующей частоте 200 МГц характеризуется при "спокойном" Солнце плотностью потока 10^{-20} Вт/м², увеличивающейся при вспышках до 10^{-16} на несколько секунд или минут и до 10^{-18} на несколько часов (Егорова, 1969). В то же время в горных породах и в открытых водоемах и морях электромагнитные поля быстро затухают до безопасного с точки зрения экологии человека уровня.

Влияние электромагнитных полей на организм человека очень ярко оценил Ф.А.Летников. Он писал: "Практически все системы человеческого организма в той или иной мере реагируют на электромагнитные поля. Томские биофизики (В.А.Белов, А.Г.Колесник и др.), анализируя суточные данные плотности потока радиоизлучения на поверхности Земли, создаваемого мировой сетью радиовещательных станций **КВ-диапазона**, нашли значимую корреляцию параметров биоритмов человеческого мозга и электрокардиограммы с динамикой электромагнитного фона. Эта зависимость создает основу для постановки вопроса о непредсказуемых последствиях дальнейшего роста напряженности электромагнитных полей для здоровья биологических объектов. Следовательно, кооперативное синергетическое взаимодействие техногенных и природных электромагнитных полей может привести к усилению негативного воздействия на человека, когда природа такого воздействия до сих пор не распознана и не диагностирована.

Актуальность поставленной проблемы очевидна в контексте современных представлений о человеческом организме как мультиосцилляторной системе с высокой степенью взаимной согласованности внешних ритмических факторов и внутренних биологических ритмов. Изменение динамических и энергетических параметров электромагнитного поля может привести к развитию необратимых явлений десинхронизации отдельных органов и рассогласованности биоритмов человека.

Индивидуальность каждого организма, тем более в различной электромагнитной среде, будет проявляться в различной чувствительности и многообразии форм ответных реакций биологических объектов на малые и ультрамалые воздействия разнообразных электромагнитных систем. Не исключено, что в некоторых случаях малые дозы кратковременного электромагнитного воздействия будут положительно сказываться на состоянии живых организмов, в то время как длительное воздействие может привести к тяжелым последствиям.

В ходе эволюции, находясь преимущественно в пределах открытого пространства, человек приспособился к стационарному фоновому электромагнитному излучению. Резкий переход его к жизни в замкнутом пространстве, изолированном от фоновых излучений, также может нарушить его **гомеостазис**. Этот вопрос ставился отдельными исследователями, но до сих пор ответы на многие вопросы не получены.

Человеческий организм - четко синхронизированная колебательная система. Все физико-химические процессы в нем совершаются в автоколебательном режиме, когда в суточном цикле синхронно меняется состав крови, функции внутренних органов, восприимчивость к лекарствам и ядам и т.д.

Наиболее опасны для человека такие ситуации, когда мощность резонатора многократно превосходит суммарный энергетический потенциал породивших его систем.

Синергетические эффекты при взаимодействии космических, техногенных и геологических полей могут обусловить различные формы генерации и распространения волн. Пространственно-временные диссипативные структуры становятся генераторами электромагнитных волн и физических полей. Кроме того, рас-

пространяются возмущения в виде импульсов энергии, стоячие волны, квазистохастические волны и дискретные автономные источники импульсной активности.

Волновые характеристики этих систем могут вступать в резонанс с частотой колебаний или длиной волн излучений человека. Тогда происходит нарушение общего его состояния как стационарной системы, стремящейся сохранить гомеостазис; у ослабленного же организма может проявиться "наркотическая" потребность в повседневной энергетической подпитке от внешнего источника. Воздействие полей на человека - один из факторов выведения его из состояния гомеостазиса. Реагируя определенным образом, организм стремится сохранить состояние гомеостазиса, жестко запрограммированное за миллионы лет его развития. Это - консервативная система с крайне незначительным "коридором" отклонения от состояния гомеостазиса, намного меньшим по отношению к другим жизненно важным параметрам, например, концентрации кислорода в воздухе.

Анализ воздействия влияния электромагнитных и низкочастотных колебаний (инфразвука) на человеческий организм приводит к одному убийственному выводу: все эти колебания в различной степени непосредственно воздействуют на кору головного мозга и высшую нервную деятельность, разрушая иммунную систему человека, особенно детей.

По-видимому, нужно подумать о разумном ограничении этих воздействий, об установлении квот для работы источников электромагнитной энергии в пределах мега- и технополисов. Суммарная напряженность электромагнитных полей различной природы и прочих низкочастотных воздействий (например, инфразвука) не должна достигать критических величин".

Интересна экологическая роль *электростатического* поля, проявляющегося в нижних приземных слоях атмосферы и значительной частью генерируемого литосферой. Живой организм на всех стадиях его развития является "приемником" аэроионов (ионов воздуха), оказывающих на него физиологическое воздействие. Под действием потоков отрицательных аэроионов при "благоприятных" дозах возникают хорошо различимые положительные эффекты - увеличивается прорастание семян растений, их рост и количество сырой массы. Вместе с тем передозировка воздействия тех же отрицательных ионов на растительные организмы вызывает заметное угнетение происходящих в них физико-химических процессов.

Говоря о реакции человеческого организма на существование электростатического поля (атмосферного электричества), следует отметить, что общее самочувствие, внимание, трудоспособность, функциональное состояние основных жизнеобеспечивающих систем находятся практически в прямой зависимости от концентрации и полярности аэроионов. Экспериментально установлено, что отрицательные аэроионы (в основном это ионы кислорода воздуха) благоприятствуют усилению жизнедеятельности организма, тогда как положительные аэроионы в большинстве случаев оказывают негативное воздействие на организм, а при значительной концентрации способны нанести ему определенный ущерб. Воздух, лишенный аэроионов обеих полярностей, может способствовать при длительном сроке дыхания в условиях такой атмосферы возникновению серьезных заболеваний. Та-

кие же или сходные результаты были получены при проведении опытов над животными в лабораторных условиях, что свидетельствует об универсальности выводов относительно экологической роли естественного электростатического поля (Чижевский, 1960).

Радиоактивное поле, или поле ионизирующего излучения, является фактором, могущим оказывать как раздражающее, так и поражающее действие. К категории "раздражающего" действия следует относить и те благоприятные эффекты, которые установлены при анализе воздействия малых доз облучения на живые организмы.

Основная часть естественного радиационного фона, наблюдаемого на поверхности планеты и в приповерхностных слоях литосферы, обязана своим происхождением, в основном, излучению радионуклидов, которые образовались вместе с Землей, вошли в состав ее пород и распределились в объеме земной коры. Радиоактивные газы радон-222 и радон-220 (торон) обеспечивают примерно 40% дозы облучения, с которым приходится сталкиваться населению планеты. Следует заметить, что интенсивность ионизирующего излучения глобально и существенно повысилась в результате попыток человека использовать атомную энергию. Достаточно сказать, что около 10% энергии, реализуемой в ядерном оружии, представлено остаточной радиацией. Испытания атомного оружия привнесли в атмосферу с последующим выпадением в виде радиоактивных осадков, воспринятых литосферой, ставшей, таким образом, источником дополнительного ионизирующего излучения, значительное количество радиоактивных веществ, в том числе и таких, какие сама природа не "производила".

В разных частях поверхности Земли и биосферы естественный радиационный фон может различаться в 3-4 раза и более. Наименьшей интенсивностью (10^{-3} - 10^{-2} мГр/год) характеризуется фон над поверхностью моря, наибольшей (до 0,9 мГр/год) - на больших высотах в горах, сложенных гранитными породами. В районах, где распространены руды с большим содержанием естественных радионуклидов, радиационный фон, как правило, выше в 100-1000 раз, чем на прилегающих и отдаленных территориях. Годовая эффективная эквивалентная доза, фиксируемая на поверхности планеты, варьирует от 2 до 20 мЗв (1 мЗв = 1 мГр). Эти величины характеризуют границы диапазона естественного радиационного фона, при котором существовало и развивалось все живое на планете.

Ионизирующее излучение оказывает на живые организмы раздражающее и поражающее воздействие. Повышение уровня излучения над фоновым или даже повышенный естественный радиационный фон может рассматриваться как мутагенный фактор. В зоне действия мощных источников облучения (как правило, антропогенного происхождения) не в состоянии выжить ни одно животное или растение. При мощности дозы облучения 0,8-2,1 мГр/ч происходит замедление роста растений и уменьшение видового разнообразия животных. При увеличении мощности дозы до 4,2-16,7 мГр/ч растительность угнетается и становится восприимчивой к поражению вредителями и болезнями. Более высокоразвитые и в силу этого более сложные организмы острее реагируют на радиационное воздействие, чем

**Сравнительная чувствительность организмов
к γ -излучению (по Е.К.Мельникову и др., 1993)**

Вид живого организма	Доза γ -излучения, Гр		
	Норма	Патология	Гибель более 50% особей
Бактерии	10	10^2	10^4
Насекомые	1	10	10^3
Млекопитающие	1	1	10

их "слаборазвитые" собратья по жизни. Человеческий организм, как показывают научные эксперименты, отличается особой чувствительностью. Млекопитающие, таким образом, обладают наибольшей чувствительностью, микроорганизмы - наибольшей устойчивостью к радиационному воздействию. Семенные растения и низшие позвоночные занимают некоторое промежуточное положение. Для иллюстрации этого в табл. 63 приведены примерные данные, касающиеся чувствительности к ионизирующему γ -излучению бактерий, насекомых и млекопитающих.

Всякое отклонение параметров среды обитания от "нормальных" (естественно, разных для различных представителей животного и растительного мира) может повлечь за собой опасность возникновения негативных последствий, которые оказываются тем серьезнее, чем больше переступаются границы гомеостаза. Для каждого живого организма существует оптимальное значение уровня одновременного действия нескольких факторов, в том числе и, возможно, в первую очередь энергетического воздействия. Можно ожидать, например, что если несколько факторов действуют одновременно на разные жизнеобеспечивающие системы организма, то конечный биологический эффект оказывается менее существенным, чем при воздействии этих факторов на какую-либо одну систему.

Одновременное действие сразу нескольких факторов окружающей среды (например, температурного поля и поля ионизирующего излучения, вариаций геомагнитного, электростатического и электромагнитного полей и т.п.) может изменить пределы переносимости организмом каждого из них. Как правило, при этом фиксируется сужение рамок переносимости (толерантности), поскольку действие отдельных факторов может усиливаться за счет ослабляющего организм действия других факторов (синергический эффект).

Однако возможны ситуации, когда действие одного из факторов может оказаться "защитным" в отношении действия другого фактора. Так, постоянное магнитное поле, микроволновое излучение могут повысить радиационную резистентность живого организма, что показано экспериментально (Ю.Г.Григорьев, 1982). Возможны, по крайней мере гипотетически, аналогичные эффекты, вызываемые геофизическими полями других видов, присущими литосфере.

Геофизически неоднородности литосферы* и проблема геопатогенеза

В последнее время проблема геопатогенеза является предметом оживленных дискуссий. По этой проблеме высказываются различные, иногда диаметрально противоположные, мнения - от безоговорочного и безусловного принятия до почти полного отрицания. Поэтому проблему геопатогенеза следует рассматривать более подробно, поскольку она в определенной мере связана с естественными геофизическими и техногенными физическими полями.

Геопатогенез (или природный патогенез) определяется А.Д. Жигалиным как возникновение устойчивых патологических изменений в живых организмах, обусловленное особыми геологическими, геофизическими, геохимическими и другими природными условиями. Геопатогенез входит в круг вопросов, касающихся энергетического, т.е. опосредованного через поля, и вещественного (химического и биологического) взаимодействия литосферы и биосферы. И в этом своем качестве геопатогенез может рассматриваться как возможное патогенное воздействие геологических, геохимических и гидрогеохимических объектов и процессов, а также сопутствующих им геофизических полей на живые организмы, населяющие нашу планету.

Необходимость научного изучения проблемы геопатогенеза возникла в связи с большим количеством публикаций об "успехах" биолокации (современное название известного с древних времен лозоходства) в обнаружении на поверхности Земли аномальных зон, пагубно влияющих на растительность, живые организмы, на здоровье человека. Такие зоны "обвиняли" в дорожно-транспортных происшествиях, авариях на трассах трубопроводов, взрывах и разрушениях в жилых домах и на предприятиях и, главное, в аномально высокой смертности населения от онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний. При этом акцентировалась исключительная способность весьма ограниченного круга "специалистов-биолокаторов" реагировать на проявления геопатогенеза и выделять в силу этого соответствующие зоны (геопатогенные или геоаномальные) на поверхности Земли.

Интерес к патогенной роли земных аномальных зон возник в середине нынешнего столетия. Вопрос о патогенном влиянии такого рода зон привлек внимание широкого круга специалистов - медиков, в первую очередь, а также биологов, геологов и геофизиков, что нашло свое отображение в большом числе публикаций. Наиболее популярной из них оказалась монография австрийской исследовательницы К. Бахлер "Опыт лозоходца", вышедшая в Австрии в 1984 г. девятым изданием и в 1989 г. в Англии под названием "Земная радиация". В этой монографии на основе многолетней работы сделан вывод о том, что онкологические, некоторые психические и хронические заболевания обусловлены ослаблением защитных сил организма в силу длительного нахождения людей в особых (геопатогенных)

* Геофизическая неоднородность литосферы представляет собой отображение в виде геофизических аномалий геолого-тектонической неоднородности литосферы.

** Лозоходство - метод поиска воды и руд с помощью лозы или ивового прута.

зонах. Уже в наше время неоднократно предпринимались попытки разъяснить сущность явления геопатогенеза с разных позиций. Однако физический механизм патогенного воздействия на живые организмы аномальных зон Земли во многом остается неразгаданным до сих пор, хотя недостатка в предположениях и разного рода гипотезах нет.

В настоящее время предпринимаются попытки найти материалистическое объяснение феномена геопатогенеза. В этом плане представляются интересными данные о связи заболеваемости населения и других аномальных проявлениях (авариях на дорогах и т.п.) с геопатогенными зонами, ассоциируемыми с определенными геолого-тектоническими элементами. Установлено, в частности, что в природных средах наблюдается взаимодействие физических полей, которые зачастую активизируют геохимические процессы, протекающие в литосфере, вызывают термоакустические и электроакустические эффекты. Обнаружена приуроченность геохимических и биохимических аномалий, а также аномалий гравитационного, магнитного, электромагнитного, электростатического и акустического полей к глубинным тектоническим разломам, сопровождающаяся на поверхности планеты аномалиями почвенно-растительного покрова и микробиологическим "заражением" грунтов. В пределах таких аномалий наиболее надежно выделяются зоны, связанные с повышенной эманацией радона.

Геопатогенные зоны достаточно разнообразны. Можно выделить, по крайней мере, два основных их типа. Первый связан преимущественно с нахождением токсичных химических элементов, повышенным выделением радона и других ювенильных (глубинных, поступающих с больших глубин из недр Земли) газов, распространением патогенных бактерий. Этот тип геопатогенных зон легче поддается изучению, поскольку механизм патогенеза достаточно очевиден - вещественный (и энергетический, если говорить о микроорганизмах) обмен между источником и объектом воздействия. Геопатогенные зоны, относящиеся ко второму типу, связываются преимущественно с локальными аномалиями геофизических полей. Механизм патогенного влияния для этого случая изучен значительно слабее, хотя сам факт наличия на поверхности Земли таких геофизических аномалий сомнений не вызывает. Наиболее сложным в данном случае является установление природы физического поля (или совокупности физических полей) и механизма передачи патогенного воздействия на живые организмы. Как писал В.А.Рудник (1996, 1999), геологическая природа самих геопатогенных зон или, по его терминологии, геологически активных зон сомнений не вызывает. Он связывает их наличие с неоднородностями геологического состава и строения земной коры, проявляющихся в повышенной проницаемости и напряжении в толще пород, с развитием активных разломов различной геологической природы и приуроченными к ним погребенными долинами, карстовыми полостями и геологическими телами, обладающими аномальными, по отношению к окружению, физическими свойствами.

В качестве примера, подтверждающего такую точку зрения, В.А.Рудник (1999) приводит данные, свидетельствующие о повышенной онкозаболеваемости обслуживающего персонала одного из зданий культурного назначения в Санкт-Пе-

тербурге. Геологически активная зона, в пределах которой располагалось здание, имела четкую привязку (по данным бурения) к погребенному аллювиальному врезу, приуроченному к активному разлому. Комплексные геолого-геофизические и геохимические исследования не обнаружили в пределах изучаемого участка ни металлотрических аномалий, ни повышенного фона гамма-излучения и эманирования радона. В то же время было установлено наличие пульсирующего магнитного поля с высоким временным градиентом, активное развитие патогенных форм бактериальной флоры, уменьшение общего уровня ионизации воздуха с преобладанием положительных аэроионов над отрицательными. Это позволило ему сделать вывод о том, что именно нарушение ионного равновесия при общем уменьшении количества аэроионов в пределах изучаемой зоны могло привести к снижению иммунитета у людей, явившегося причиной онкологических заболеваний.

Другим примером влияния тектонических особенностей строения литосферы и связанных с ними аномалий геофизических полей могут служить данные, приводимые В.Н.Саломатиным и А.Ф.Бессмертным (1998). Авторы публикации сделали попытку установить связь повышенной заболеваемости детей в одном из районов Ялты с тектоническими разломами определенной ориентации. По их мнению, "ответственным" за детскую патологию является увеличение силы тяжести над разрывными нарушениями и высоко-напряженными массивами горных пород, а также воздействие таких радионуклидов, как радон и торон.

В приведенных примерах демонстрируется желание исследователей "материализовать" явление геопатогенеза и связать его с геологическими неоднородностями литосферы. Наряду с этим существуют попытки иного рода, уводящие нас в область "чистой" биолокации, полей неизвестной природы, в область изучения стационарных и мигрирующих "энергетических сеток и узлов" (сетки Карри, Хартмана, Швейцера и др.), являющихся, по мнению экстрасенсов-биолокаторов, источниками геопатогенеза. Однако в силу отсутствия на сегодняшний день реального геологического обоснования и невозможности безусловного и надежного инструментального обнаружения подобного рода геопатогенных зон, их следует рассматривать как гипотетические и нуждающиеся в дальнейшем изучении.

Поскольку геоактивные (геоаномальные или геопатогенные) зоны могут оказывать определенное непосредственное (патогенное) или опосредованное (через разрушения и аварии на различного рода объектах) негативное воздействие на биоту, их следует относить к местам (очагам) повышенного экологического риска. В этом качестве они являются объектом и предметом изучения экологической геологии.

А.Д.Жигалин (1998) считает, что задача выявления и изучения геопатогенных зон может быть разделена на три относительно самостоятельных блока - энергетический, структурно-энергетический и энергоинформационный. В соответствии с предлагаемой условной дифференциацией общей проблемы геопатогенеза ее рассмотрение следует ориентировать в трех направлениях: в направлении выявления прямой связи аномальных проявлений физических полей земной (литосферной) природы с патологическими изменениями живых организмов; обнару-

жения и определения положения структурных и вещественных элементов геологического тела планеты, могущих быть потенциальными носителями или проводниками геопатогенеза; анализа геопатогенеза как явления, предположительно имеющего энергоинформационный характер.

Можно констатировать, что по состоянию на сегодняшний день проблема геопатогенеза с позиций современной геофизики содержит гораздо больше вопросов, чем ответов. Предполагается, что геопатогенные зоны проявляются в энергетических полях, хотя природа этих полей остается до сей поры terra incognita.

Дальнейшие геофизические проработки в рамках раскрытия проблемы геопатогенеза следует предпочтительно ориентировать на распознавание физической природы поля, на формализацию описания его проявлений, особенно во взаимодействии с объектами живой природы, для чего желательно использовать привычный математический аппарат. Сосредоточение усилий в этом направлении должно в перспективе приблизить естествоиспытателей к получению ответов на вопросы, что такое геопатогенные зоны, и если они не миф, а реальность, то каков механизм их образования и воздействия и можно ли управлять геопатогенезом, устраняя или минимизируя последствия его негативных проявлений.

Экологические последствия изменения параметров геофизических полей во времени и пространстве

Геофизические поля по природе своей гомотропны. Это значит, что живые организмы, появляясь на свет, сразу же оказываются под воздействием геофизических полей, которое сопровождает их в течение всей жизни. Поэтому соответствующая геофизическая (в данном контексте - энергетическая) обстановка по сути дела входит составной частью в условия среды обитания. И если область существования какой-либо формы жизни пространственно совпадает с областью аномального проявления геофизических полей, то это можно рассматривать лишь как "специфику условий существования", как некоторые особые требования, предъявляемые природой к адаптационным механизмам живых организмов и экосистем, которые адекватным образом удовлетворяются живыми организмами и экосистемами. В силу этого представители биоты, ведущие "оседлый" образ жизни, всем ходом предшествующей их появлению эволюции органической жизни на Земле, застрахованы от неожиданностей и сюрпризов со стороны геофизического компонента среды обитания. В этом смысле можно говорить об экологически адекватном "фоне" геофизических полей. Для организмов, не адаптированных к этому фону, он может оказаться губительным.

Принципиально иная картина наблюдается в том случае, когда приходится сталкиваться с изменениями параметров геофизических полей, выходящими за рамки естественных фоновых флуктуаций. Это может иметь место, например, в случае быстрого значительного изменения характеристических параметров геофизических полей либо во времени, либо в пространстве.

А.Л. Чижевский (1933-1976) в своих работах убедительно показал связь гелио-геофизических явлений с изменением энергетического состояния атмосферы

в пограничном с литосферой слое и опосредованно через него с изменением состояния растительного и животного мира. Приводимые им примеры показывают, как хромосферные вспышки на Солнце влекут за собой изменения геомагнитного и магнитотеллурического полей, поля атмосферного электричества, которые, в свою очередь, сопровождаются вспышками эпидемий и эпизоотий, набегами саранчи, грызунов, других сельскохозяйственных вредителей, обострением целого ряда болезней у людей, повышением смертности и т.д. Приводимый А.Л.Чижевским перечень явлений в органическом мире Земли, поставленных в зависимость от периодической деятельности Солнца и сопутствующих ей изменений геоэлектрики и геомагнетизма, весьма широкий - от величины урожая кормовых культур, количества и качества получаемого вина до количества кальция в крови человека, частоты психопатических эпидемий, колебания веса младенцев при рождении и частоты преступлений.

Если внимательно проанализировать приводимые А.Л.Чижевским графически отображенные связи заболеваемости населения с процессом пятнообразования на поверхности Солнца, можно увидеть, что выявленные максимумы проявления болезней пространственно, как правило, не совпадают с максимумами кривых, характеризующих процесс пятнообразования, но соответствуют периоду спада активности этого процесса, переходу к минимуму его интенсивности (рис. 36 и 37). Такой характер временного соотношения процесса солнечной активности и аномальных проявлений в биосфере Земли конечно же не является случайным. Он свидетельствует о том, что скорее всего не абсолютное увеличение или уменьшение солнечной активности служит причиной наблюдаемых в биосфере аномальных явлений, а именно процесс увеличения или уменьшения этой активности, т.е. фактором, аномально изменяющим жизнедеятельность биоты, является не изменение модуля функции (в данном случае солнечной активности), а скорость этого изменения, временной градиент функции.

Лабораторные эксперименты и натурные наблюдения показывают, что живые организмы и в том числе организм человека остро реагируют, как правило, именно на "быстрое" (т.е. превышающее скорость адаптации данного организма) изменение геофизического поля вне зависимости от его природы, а не на установившийся его уровень. Благодаря значительным адаптационным резервам живых организмов, они способны стойко переносить существенные изменения таких полей. Если геофизическое поле изменяется "медленно", у живых организмов есть достаточный запас времени, чтобы приспособиться к этим изменениям без наступления заметных негативных последствий. Другое дело - "быстрые" изменения техногенных геофизических полей, не оставляющие биологическим объектам времени для реализации приспособительных реакций. В этом случае вполне вероятны неблагоприятные эффекты, могущие серьезным образом разрушить функциональный аппарат живых организмов. Примером этого может служить реакция "метеозависимых" больных на прохождение магнитных бурь, резкую смену атмосферного давления и многие другие известные теперь медико-биологические данные.

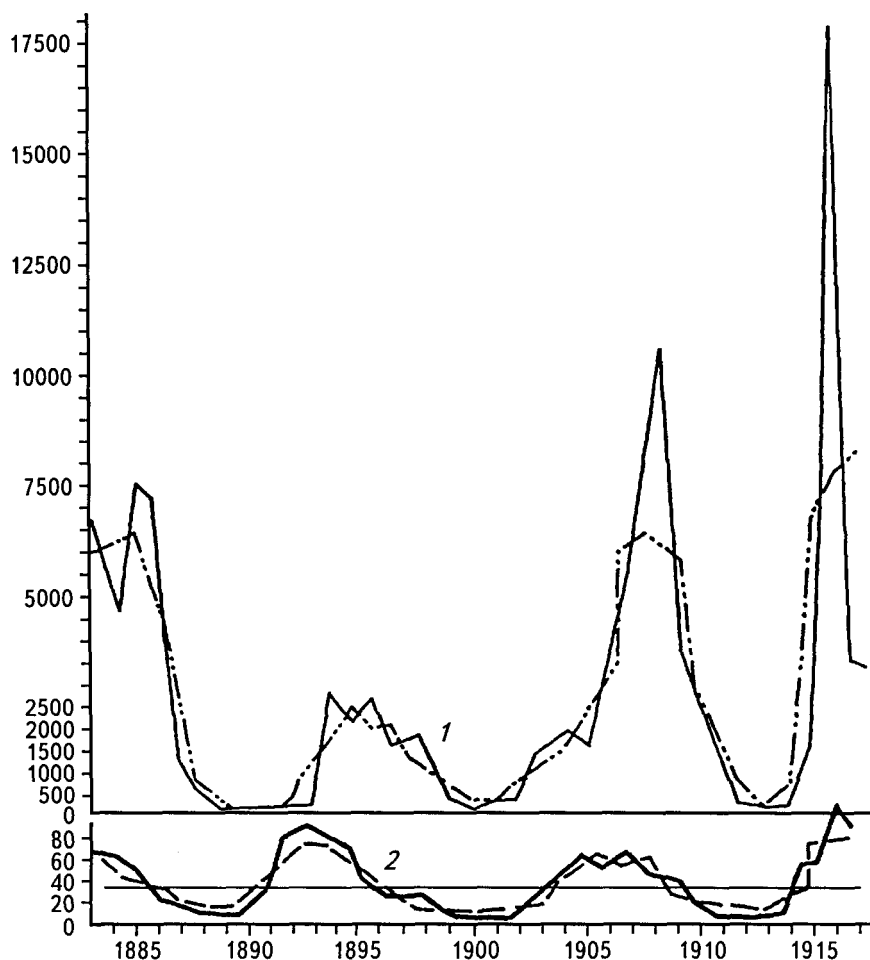


Рис. 36. Сопоставление солнечной активности с заболеваемостью возвратным тифом в Москве (1883-1918 гг.)

1 – число заболеваний; 2 – число наблюдаемых пятен на Солнце; пунктиром показаны осредненные кривые по трем смежным точкам

Мобильность современного образа жизни человека заставляет говорить о возможных экологических последствиях не только временных, но и пространственных изменений геофизических аномалий. Прохождение магнитной бури вызывает скоротечные (в течение нескольких часов) изменения геомагнитного поля, которые могут достигать 10 мЭ при фоновой величине напряженности магнитного поля Земли 500-618 мЭ. В период прохождения магнитной бури величина временно-го градиента возмущения геомагнитного поля может достигать 1-2 мЭ/ч.

Для сравнения, наибольшая величина пространственного градиента избыточного магнитного поля в районе Курской магнитной аномалии ($\Delta T = 1300$ мЭ) составляет 50-60 мЭ/км. При общей ширине магнитной аномальной области, при-

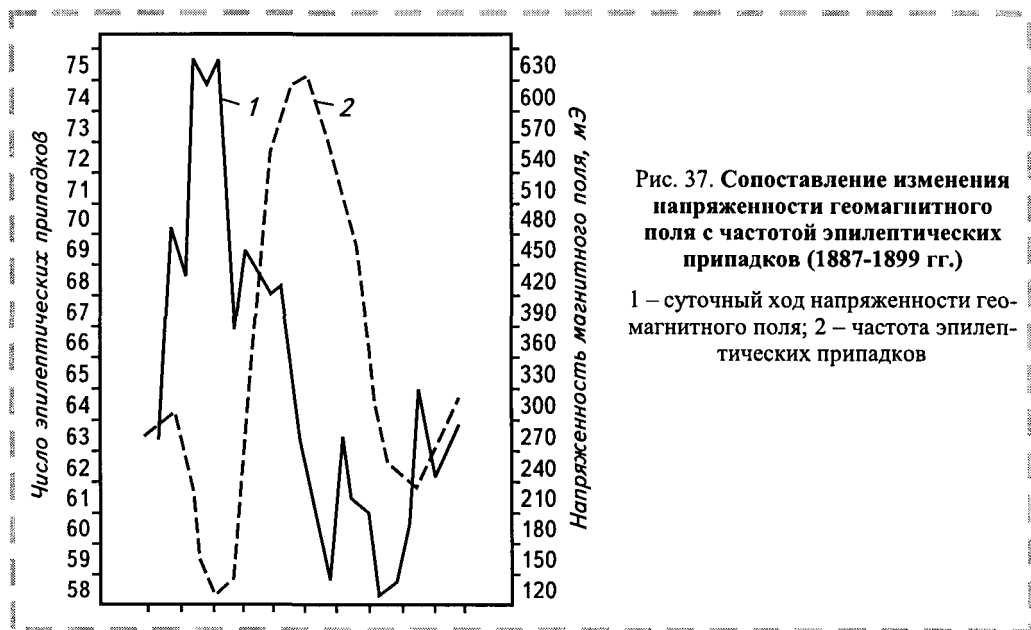


Рис. 37. Сопоставление изменения напряженности геомагнитного поля с частотой эпилептических припадков (1887-1899 гг.)

1 – суточный ход напряженности геомагнитного поля; 2 – частота эпилептических припадков

близительно равной 40 км, даже при пересечении ее на велосипеде возможно "обеспечить" временной градиент избыточного магнитного поля около 300 мЭ/ч, что на целых два порядка выше по значению аналогичного параметра, регистрируемого при прохождении магнитной бури. Аналогичные выводы можно сделать относительно аномалий гравитационного поля, электрического поля в приземном слое атмосферы и т.д.

Таким образом, при выборе количественных критериев оценки экологического проявления геофизических полей целесообразно ориентироваться на величины изменения параметров геофизических полей во времени или в пространстве, соотнося с ними те фиксируемые изменения в функционировании живых организмов, которые могут рассматриваться в качестве их реакции на вариации и аномальные проявления геофизических полей.

8.6. Критерии оценки состояния эколого-геологических условий, обусловленных проявлением геофизической экологической функции литосферы

Нормативные критерии, оценивающие медико-санитарную обстановку по величинам воздействующих физических полей

Вопрос о критериях оценки влияния геофизических полей, за исключением радиационного, разработан пока слабо. Для оценки их влияния обычно используют данные о воздействиях на биоту физических полей. Эти данные в принципе от-

ражают санитарно-гигиеническое нормирование биологического воздействия электрических, акустических и других полей, неблагоприятно влияющих на организм человека.

Выделяются следующие предельные значения напряженности электромагнитного поля в кВ/м для населения: 0,5 - в жилых зданиях; 1,0 - в пределах жилой застройки; 10 - на пересечении ЛЭП с автодорогами; 15 - в пределах сельхозугодий; 20 - в труднодоступной местности. С учетом частотного диапазона радиоволн предельно допустимые уровни электромагнитного поля для населенных мест составляют: длинные радиоволны (частота до 300 кГц, длина 10-1 км) - 20 В/м; средние радиоволны (частота 0,3-3,0 МГц, длина 1,0-0,1 м) - 10 В/м; короткие волны (частота 3-30 МГц, длина 100-10 м) - 4 В/м; ультракороткие (частота 30-300 МГц, длина 10-1 м) - 2 В/м. Для магнитных полей, по данным зарубежных исследователей, допустимая напряженность магнитного поля, в котором может находиться человек, не должна превышать 50 000 нТл, т.е. напряженности магнитного поля Земли.

Для вибрационных полей положение с критериями оценки их воздействия на биоту еще более сложное, так как резонансные частоты отдельных частей тела человека отличаются между собой на 10-20 Гц и, кроме того, зависят от виброперемещения (мм), частоты (Гц) и виброускорения (м/с^2). Все эти характеристики должны входить в состав критериев оценки. Неблагоприятное воздействие на человека оказывает вибрация с частотами 1-30 Гц (Г.С.Вахромеев, 1995).

Как уже отмечалось, оценка действия ионизирующей радиации на живые организмы оценивается в греях (Гр), т.е. поглощенной дозой, либо в зивертах (Зв), т.е. эффективной эквивалентной дозой. Однако для компонентов литосферы наиболее часто используются внесистемные единицы - кюри (Ки), рентген (Р).

В соответствии с основными положениями законодательства Российской Федерации о статусе загрязненных территорий установлено пороговое значение среднегодовой эффективной эквивалентной дозы облучения в 1 мЗв (0,1 бэр - биологический эквивалент рентгена), которому соответствует плотность радиоактивного загрязнения почвы цезием-137 в 1 Ки/км² (разработки АН СССР для районов, пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС, утвержденные Правительством Российской Федерации 17 мая 1991 г.). Ниже этих значений уровня радиации условия проживания и трудовая деятельность населения не требуют каких-либо ограничений. В пределах территорий, где плотность радиоактивного загрязнения почвы цезием-137 превышает указанный норматив, выделяются зоны отчуждения, отселения, проживания с правом отселения, проживания с льготным социально-экономическим статусом (см. табл. 24). Как видно из этой таблицы, классы состояния по радионуклидному загрязнению почв и пород зоны аэрации имеют достаточно четкую количественную характеристику по ряду конкретных показателей.

* Грей (Гр) - единица поглощенной дозы ионизирующего излучения в Международной системе единиц СИ. 1 Гр = 1 Зв = 100 Р.

Комплексный подход к оценке воздействия геофизических полей на биоту

В соответствии с изложенными в главе 3 общими принципами выбора критериев оценки, *слабым* геофизическим воздействием (первый уровень) можно считать такое воздействие, при котором изменения полей разного вида и генезиса не выходят за рамки естественных вариаций и не приводят к заметным нарушениям привычных условий существования живых организмов и человека. Такое воздействие не выводит состояние окружающей среды (внешней по отношению к экосистеме) за пределы экологической нормы, а живые организмы – за пределы состояния "здоровья". Массивы горных пород, которым свойственны данные особенности, находятся в удовлетворительном эколого-геологическом состоянии.

Умеренное геофизическое воздействие (второй уровень) - представляет собой воздействие, при котором могут возникать заметные, выходящие за рамки фоновых, изменения окружающей среды и условий существования живых организмов, не требующие, однако, специальных мероприятий для устранения последствий таких изменений. С санитарно-гигиенических позиций такое состояние окружающей среды оценивается как условно удовлетворительное, с экологической точки зрения - как состояние экологического риска, где реакцию живых организмов можно определить как "напряжение".

Сильное геофизическое воздействие (третий уровень) предполагает такое воздействие, при котором возникающие в окружающей среде и условиях существования живых организмов изменения требуют специальных мероприятий, направленных на предотвращение возможных негативных последствий воздействия. Состояние окружающей среды в условиях сильного воздействия следует оценивать как неудовлетворительное, или как состояние экологического кризиса, а реакцию живых организмов как "утомление".

Опасное геофизическое воздействие (четвертый уровень) - представляет собой такое воздействие, при котором возможны разрушительные и катастрофические изменения в окружающей среде, деградация и гибель представителей животного и растительного мира, появление патологических изменений в организме человека с самыми серьезными негативными последствиями вплоть до увеличения смертности в рамках человеческой популяции. Такой уровень воздействия оценивается как чрезвычайно опасный с гигиенических позиций и как экологическое бедствие, если проводить оценку состояния окружающей среды в приложении к широкому спектру природных и природно-технических систем.

В качестве граничных значений при разделении уровня геофизического воздействия или эколого-геофизического состояния окружающей среды, в том числе и литосферы, по указанным четырем уровням выбираются количественные показатели, определяемые на основе данных экспериментальных медико-биологических исследований, действующих в настоящий момент времени санитарно-гигиенических и технических нормативных документов и т.п. Эти показатели должны отвечать определенному состоянию среды, совокупности условий существования живых организмов и, в первую очередь, условий жизнедеятельности людей.

Примером алгоритма выбора такого рода показателей может служить разделение по уровню шумового загрязнения, вызываемого воздействием техногенного акустического (звукового) поля. Так, интервал изменения уровня шума (звука) от 0 до 35 дБ* соответствует слабому воздействию (экологической норме, малоопасному состоянию окружающей среды), интервал от 35 до 80 дБ - умеренному воздействию (состояние экологического риска или умеренной опасности), интервал от 80 до 120 дБ - сильному воздействию (состояние экологического кризиса или опасное) и, наконец, интервал за пределами 120 дБ отвечает опасному воздействию, при котором состояние окружающей среды и условия существования живых организмов и человека расцениваются как чрезвычайно опасное, или как ситуация экологического бедствия.

Указанные граничные количественные величины выбраны не случайно. Так, уровень звука 30-35 дБ соответствует, с одной стороны, максимальной величине регистрируемого шумового фона, а с другой, - наиболее жесткой санитарной норме, предусмотренной для дошкольных, лечебных и санаторных учреждений. Интервал изменения уровня звука от 35 до 80 дБ перекрывает весь диапазон санитарных норм - от норм для жилых помещений до норм для производственных помещений, включая помещения "шумных" предприятий. Продолжительное шумовое воздействие при уровне звука от 80 до 120 дБ приводит к появлению негативных изменений в слуховом аппарате человека, а за пределами 120 дБ - к частичной или полной потере слуха. Подобным же образом могут быть выбраны граничные значения и для других видов физического воздействия.

Как показывает приведенный пример, выбор оценочных показателей не представляет особо сложную задачу, поскольку существует большое число общегосударственных и ведомственных нормативных документов, регламентирующих энергетическое "общение" с окружающей природной средой, опирающихся на результаты многочисленных медико-биологических экспериментальных исследований. Легко, например, подобрать граничные количественные оценки для поля ионизирующего излучения (радиоактивности), если поставить во главу угла симптоматику лучевой болезни. Так, при поглощенных дозах, меньших 0,25 Гр, или 0,25 Зв (25 Р), никакие современные методы обследования не дают возможности обнаружить изменения в состоянии здоровья человека, причинно обусловленные воздействием ионизирующего облучения. Симптомы лучевой болезни начинают проявляться при облучении дозами свыше 1 Гр (100 Р), а тяжелая форма лучевой болезни - при дозах свыше 4 Гр (400 Р). В силу этого величины поглощенной дозы в 0,25; 1,0 и 4,0 Гр могут рассматриваться как границы интервалов слабого (до 0,25 Гр), умеренного (от 0,25 до 1,0 Гр), сильного (от 1,0 до 4,0 Гр) и опасного (свыше 4,0 Гр) воздействия ионизирующего излучения. По всей вероятности, именно такой путь был выбран составителями "Карты радиоактивного загрязне-

* Относительная единица измерения уровня звука дБ (децибел) показывает, насколько измеренная сила звука превышает звуковое давление на пороге слышимости человеческого уха ($2 \cdot 10^{-5}$ Па). Возрастание уровня звука на 20 дБ соответствует увеличению силы звука на порядок (в 10 раз).

ния местности (цезием-137)" масштаба 1 200 000, изданной по заказу Госкомчернобыля РФ в 1991 г. Составители выделили четыре уровня (см. табл. 24) радиоактивного загрязнения (воздействия), которые могут быть сопоставлены с предлагаемыми нами уровнями физического воздействия. Так, выделенная составителями карты "зона отчуждения" может соответствовать опасному уровню воздействия, "зона отселения" - сильному воздействию, "зона проживания с правом на отселение" - умеренному и "зона проживания с льготным социально-экономическим статусом" - слабому физическому (в данном случае - радиационному) воздействию. В основу зонирования территории составителями была положена, с одной стороны, величина возможной среднегодовой эффективности эквивалентной дозы облучения, а, с другой стороны, - плотность радиоактивного загрязнения местности тем или иным "чернобыльским" радионуклидом (цезий-137, стронций-90, плутоний-239 и т.д.).

Выбранные оценочные критерии базируются исключительно на реакции организма на воздействие ионизирующего излучения. Вместе с тем каждому из выделенных интервалов соответствует вполне определенный радиационный фон, который также может быть количественно оценен, но уже в соответствующих единицах и для соответствующего источника ионизирующего излучения.

Подчеркнем, что четырехуровневая система комплексной оценки эколого-геофизического состояния литосферы может служить хорошей основой для эколого-геофизического картографирования как способа графического отображения геофизических факторов, влияющих на формирование экологической обстановки. В таком контексте эколого-геофизическая карта представляет собой модель реальной эколого-геологической обстановки, несущей информацию о воздействии геофизических полей различного генезиса на живые организмы и, в первую очередь, на организм человека. Конечной целью эколого-геофизического картографирования является представление графического документа, содержащего информацию о характере и уровне воздействия естественных и техногенных физических полей на биоту и в том числе на организм человека с определением возможных последствий этого воздействия.

Литература

- Биологическое действие электромагнитных полей.* - М.: Наука, 1984. — 326 с.
- Вахромеев Г.С.* Экологическая геофизика. Иркутск: ИрГТУ, 1995. - 216 с.
- Геопатогенные зоны - миф или реальность? / Е.К.Мельников, Ю.И.Мусийчук, А.И.Потифоров и др.* - СПб: Недра, 1993. - 52 с.
- Дубров А.П.* Земное излучение и здоровье человека (геопатия и здоровье человека). - М.: АиФ, 1993. — 64с.
- Летников Ф.А.* Синергетика среды обитания человека // Земля и Вселенная, 1998. - № 5. — С.17-25.
- Мизун Ю.Г.* Биопатогенные зоны - угроза заболевания. М.: НПЦ... Экология и здоровье..., 1993. — 192с.

Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы. — М.: Недра, 1985. - 288 с.

Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы / Р.М. Алексахин, Н.П. Архипов, Р.М. Бархударов и др. - М.: Наука, 1990. — 368 с.

Экологическая геофизика и геохимия. - М. - Дубна: ВНИИГеосистем, 1998. - 252 с.

Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 432 с.

Электромагнитное поле в биосфере. Т.1 Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение. - М.: Наука, 1984. - 375 с; Т. И. Биологическое действие электромагнитных полей. - М.: Наука, 1984. - 316 с.

ГЛАВА 9

ЛИТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ РОЛЬ В ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЛИТОСФЕРЫ*

9.1. Литотехнические системы как результат взаимодействия природных геологических и технических объектов

Современные особенности экологических функций и свойств литосферы - продукт ее эволюционного природного геологического развития и техногенеза. Именно последний фактор - техногенез - обусловил преобразование многих составляющих экологических функций литосферы, главным образом, в негативном направлении. Хорошо известно, что любой технический объект может выполнять свои функции только в сочетании с природным геологическим телом, на котором или в котором он размещен. Совместное рассмотрение природных и технических объектов - единственный путь к оценке последствий техногенного воздействия на экосистему и человека. В наиболее емком и концентрированном виде такое взаимодействие отражают литотехнические либо природно-технические системы, если природный компонент системы включает в себя все абиотические геосферные оболочки Земли, а не только литосферу. **Под литотехнической системой** в общем виде следует понимать **любую** комбинацию из технического устройства и литосферного блока любой размерности, элементы которой взаимодействуют друг с другом и объединяются единством выполняемой социально-экономической функции. Это - новые искусственно-естественные образования. В инженерной геологии они изучаются с целью обеспечения устойчивого функционирования инженерных сооружений, инженерно-хозяйственной деятельности человека, а в экологической геологии - как компонент эколого-геологической системы, определяющий характер и интенсивность **воздействия на биоту**.

Решение таких задач требует специального подхода к рассмотрению литотехнической системы как системного единства технических объектов и геологических тел.

Главное с эколого-геологических позиций - создание литотехнической системы приводит к изменению типа эколого-геологической системы: начинает функционировать природно-техническая эколого-геологическая система реальная. Закономерности ее развития и, естественно, трансформации экологических функций принципиально иные по сравнению с природной эколого-геологической системой реальной.

* Глава составлена при участии Т.И.Аверкиной.

Литотехнические системы характеризуются определенными пространственными и временными границами, структурой, свойствами и состоянием. Каждый из этих параметров рассматривается с точки зрения эколого-геологических особенностей **литотехнических** систем и в конечном итоге служит для оценки экологических последствий их функционирования.

Пространственный контур литотехнической системы с экологических позиций должен проводиться по внешней границе зоны ее экологического влияния. Эта зона охватывает всю территорию, в пределах которой под влиянием прямых и косвенных техногенных воздействий происходят существенные изменения всех или некоторых ее элементов, имеющих экологическое значение. Ореол такого влияния обычно характеризуется показателями, отражающими размеры и форму площадей техногенных изменений: деформированных, заболоченных, засоленных или подтопленных земель, химического загрязнения, влияния теплового воздействия сооружений, химического или радиоактивного воздействия при миграции компонентов от источника диффузионным или фильтрационным путем и т.д. Если объект оказывает комплексное воздействие на среду, граница должна проводиться по совокупному ореолу техногенных изменений экологически существенных свойств литосферы.

Граница литотехнических систем, проводимая с эколого-геологических позиций, в некоторых случаях совпадает с границей "сферы взаимодействия" в инженерно-геологическом понимании, но в большинстве ситуаций не совпадает и оконтуривает существенно большую площадь.

Используются понятия о границах зон актуального и потенциального влияния **литотехнических** систем. Для установления первой из них рационально ориентироваться на биологические индикаторы: угнетение растительности, исчезновение каких-либо видов животных и т.д.

При рассмотрении *временных границ* литотехнической системы началом ее формирования обычно принимают начало строительства или какой-либо иной хозяйственной деятельности. Конечной временной границей можно считать момент ликвидации технического объекта, например, здания. Окончание эксплуатации карьера означает прекращение деятельности системы "карьер - массив горных пород", но является началом функционирования новой системы "рекультивированный карьер - массив горных пород". Некоторые технические объекты (например, полигоны бытовых и промышленных отходов) подлежат не ликвидации, а консервации. Время их "закрытия" нельзя считать конечным рубежом деятельности литотехнической системы, так как с ним не исчезают химический, биологический и тепловой эффекты. В этой ситуации за конечную временную границу литотехнической системы следует принимать время прекращения этих техногенных (точнее - посттехногенных) воздействий. Определить это время не всегда просто даже для локальных систем. Задача тем более усложняется, когда речь идет о региональных литотехнических системах, которые, по выражению Г.К.Бондарика, в масштабах времени человеческого общества существуют "вечно".

Характеристика *структуры* системы предусматривает выделение подсистем, элементов систем, систем разных уровней, а также выявление их взаимоотношений (связей). Традиционно в литотехнических системах обособляют геологическую и техническую составляющие - подсистемы первого порядка; иногда добавляют подсистему управления. Они, в свою очередь, разбиваются на подсистемы второго, третьего и т.д. порядков. Например, природная подсистема подразделяется на вещественную подсистему и подсистему энергетических полей. Далее в вещественной подсистеме выделяются подсистемы третьего порядка: горных пород, подземных вод, рельефа и т.д. Подсистемы самого низкого уровня выступают в качестве элементов систем.

По *уровню организации* выделяют элементарные, локальные, региональные и глобальные литотехнические системы. Первые включают единичные сооружения (например, цех завода) и массив пород в зоне его влияния. Весь завод и объем литосферы в пределах его влияния образуют системы локального уровня. Региональные литотехнические системы объединяют комплексы локальных и, в свою очередь, являются составными частями глобальной литотехнической системы - технолитосферы. Иногда выделяют литотехнические системы национального уровня, пространственные контуры которых совпадают с государственными границами.

Эколого-геологический подход к изучению литотехнических систем требует наряду с технической и геологической подсистемами учитывать биологический компонент. Объективно биота (за исключением человека) не участвует в целенаправленном функционировании литотехнических систем и, как правило, не рассматривается геологом в качестве их структурных подразделений. Даже в тех случаях, когда конструкции технических объектов (плотин, трубопроводов и т.д.) предусматривают создание специальных биологических коридоров - проходов для домашнего скота, диких животных или рыб - последние непосредственно не участвуют в деятельности литотехнической системы.

Другими словами, живое вещество по отношению к литотехнической системе выступает в качестве внешней системы. При инженерно-геологическом подходе изучается, как эта внешняя система влияет на саму систему, а при эколого-геологическом - как литотехническая система влияет на живые организмы.

Множество *структурных связей* литотехнической системы подразделены на внутренние и внешние. Первые функционируют между элементами и подсистемами одной системы. Среди них принято различать локализирующие (направленные из природы к технике) и изменяющие (от техники к природе). Внешние связи осуществляются между различными литотехническими системами и элементами (подсистемами) различных литотехнических систем, а также между элементами (подсистемами) какой-либо литотехнической системы и смежными средами. К разряду внешних относятся и связи между литотехнической системой (ее элементами, подсистемами) и живыми организмами (рис. 38).

Общепринято также деление связей на прямые (технический элемент → геологический элемент) и опосредованные (технический элемент → геологический

элемент → технический элемент). Воздействие технических объектов на биологические компоненты среды осуществляется, главным образом, также опосредованно (технический элемент → геологический элемент → живые организмы). В отдельных случаях возможны связи типа: технический элемент → живые организмы (например, склад радиоактивных отходов → биота).

Свойства литотехнических систем, как всякой системы, подразделяются на совокупные и эмерджентные. Совокупные складываются из свойств отдельных элементов, подсистем, элементарных систем.

К разряду эмерджентных свойств относятся целостность (каждый элемент влияет на все, все — на него), кумулятивность (изменение каждого элемента вызывает изменение системы), организованность (в том числе иерархичность), управляемость, открытость-замкнутость, устойчивость-неустойчивость (способность-неспособность функционировать в заданном режиме) и др.

Состояние литотехнических систем подразделяется на равновесное и **неравновесное**. На начальных этапах формирования (период строительства, первые годы эксплуатации) большинство из них находится в неравновесном состоянии. Оно характеризуется резким нарушением геологической составляющей. Если последняя устойчива к приложенному воздействию, ее изменение носит обратимый характер. В этом случае геологическая подсистема со временем возвращается в исходное равновесное состояние, соответствующее равновесному состоянию всей литотехнической системы. При необратимых изменениях переходный период обычно более длительный и заканчивается переходом системы в равновесное состояние уже в новой устойчивой области. Дальнейшее развитие литотехнической системы определяется, главным образом, поведением геологического компонента, так как технические объекты способны лишь многократно повторять одни и те же процессы, а природа характеризуется непрерывной эволюцией.

Целесообразно использовать понятие об *экологическом состоянии* литотехнической системы. Его можно классифицировать как биологически комфортное и дискомфортное, экологически опасное и неопасное. Можно выделить разные степени опасности.

Возможно рассмотрение актуального и потенциального состояния литотехнической системы (в том числе экологического), долговременного и кратковременного. В некоторых случаях фиксируются суточные состояния - стексы (по Н.Л. Беруташивили, 1982).

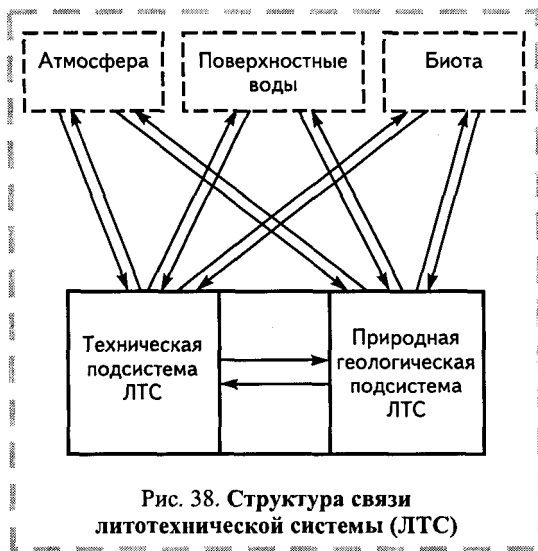


Рис. 38. Структура связи литотехнической системы (ЛТС)

Оценка экологического состояния биоты и состояния эколого-геологических условий тесно связана с изучением последствий функционирования литотехнических систем. Сразу же отметим, что геолог, конечно, не может определять такие результаты изменений биотопов, как мутация, нарушение трофических цепей, смена направлений **сукцессий** и т.д. Однако, только геолог может определять и прогнозировать характер и интенсивность техногенных изменений литосферы, степень отклонения от нормы тех геологических параметров, которые имеют экологическое значение. На этой основе и должны строиться заключения о том, будет ли в условиях функционирования литотехнической системы обеспечена нормальная жизнедеятельность человека и других живых организмов или нет.

9.2. Техногенные воздействия на литосферу и их экологические последствия

С помощью техники, как известно, человеческая популяция добилась высокой степени доминирования над средой своего обитания. Техника, под которой в данном контексте понимаются технические объекты и технологии как средства хозяйственной деятельности людей, с одной стороны, помогает человеку адаптироваться к природе, с другой, - приспосабливать природу к нуждам людей. Посреднические функции техники могут быть представлены, по А.Ю.Ретеюму, А.И.Мухиной и И.Ю.Долгуснину (1978), в следующем виде:

как средство использования ресурсов природы (горно-добывающая и перерабатывающая, сельскохозяйственная, водозаборы и т.д.);

как средство управления природой (оросительные и дренажные системы, средства технической мелиорации грунтов, средства химизации сельского хозяйства и т.д.);

как средство защиты от неблагоприятных природных процессов (противооползневые и селезащитные сооружения и т.д.).

Некоторые технические объекты выступают, как было показано ранее, исключительно как потребители **геологического** пространства, т.е. пространства, на котором (в котором) они размещены. К ним относятся производственные комплексы, жилые и административные здания, отстойники, пруды-охладители и т.д.

Во всех случаях в большей или меньшей степени в результате деятельности технических объектов имеет место преобразование среды обитания. Все чаще употребляется понятие о средоизменяющей активности техники. Ее можно рассматривать с точки зрения влияния на вещественно-энергетический баланс литосферы, а, следовательно, и на экологические функции последней. При этом следует различать воздействия техники целенаправленные (неизбежные) и стихийные, возникающие при нарушениях технологии строительства и эксплуатации. С точки зрения целенаправленных воздействий Т.И.Аверкина выделяет шесть групп технических объектов, которые осуществляют обратимое или необратимое воздействие:

снижение ресурсного потенциала геологических тел: карьеры, нефтедобывающие скважины, водозаборы и т.д.;

повышение ресурсного потенциала геологических тел: оросительные системы, средства технической мелиорации грунтов и т.д.;

снижение напряженности геофизико-геохимического фона: системы дезактивации, очистные сооружения и т.д.;

повышение напряженности геофизико-геохимического фона: средства химизации сельского хозяйства, могильники, теплотрассы, линии электропередач и т.д.;

снижение геодинамического потенциала геологических тел: берегоукрепительные сооружения, контрбанкеты и т.д.;

повышение геодинамического потенциала: выемки автомобильных и железных дорог и т.д.

В этой систематике не учитывается, что практически все технические устройства занимают некоторый объем и тем самым снижают ресурсы свободного, неосвоенного пространства литосферы. Однако и без этого четко видно, что они оказывают, так называемые, техногенные воздействия на экосистемы.

Под техногенным воздействием понимают различные по своей природе, механизму, длительности и интенсивности нагрузки, оказываемые производственно-хозяйственной деятельностью человека на природные среды, включая литосферу и биоту. Следует напомнить, что техногенное воздействие - продукт цивилизации, а его специфика и масштабы формировались и изменялись одновременно с развитием общества и достигли максимума на современном этапе, создав реальные предпосылки экологического кризиса.

Оценку техногенных воздействий на литосферу и их экологических последствий можно вести по разным направлениям: по видам производственной деятельности; по набору и характеру воздействий на определенный компонент литосферы (породы, рельеф, подземные воды и др.); по природе техногенных процессов, их генетической сущности.

Первое направление связано с прямой зависимостью характера и интенсивности техногенного воздействия с особенностями функциональной ориентации производственного объекта, с производственной спецификой источника воздействия. Однако на практике, особенно, в пределах урбанизированных и горно-добывающих территорий, воздействия от отдельных источников, как правило, накладываются друг на друга, суммируются и видоизменяются. Это крайне затрудняет оценку экологических последствий отдельных объектов, так как приходится иметь дело с синергетикой техногенных воздействий и их последствий.

Второе направление ориентировано преимущественно на анализ какой-либо одной геологической составляющей литотехнической системы. Оно не позволяет комплексно ответить непосредственно на вопрос о техногенных воздействиях на литосферу, хотя опосредованно и связана с ним.

Третье направление позволяет избежать отмеченные сложности в первых двух подходах и оценить экологические последствия техногенных воздействий по их

генетической природе. Такой подход был реализован В.Т.Трофимовым, В.А.Королевым и А.С.Герасимовой (1995) при разработке классификации техногенных воздействий (табл. 64).

Основная таксономическая единица этой классификации - классы, которые выделяются по природе (механизму) техногенного воздействия: физическое, физико-химическое, химическое и биологическое. В составе первого обособляются подклассы по конкретным физическим полям (термическое, радиационное, электромагнитное и др.). Типы воздействий обособлены по признаку "прямого" и "обратного" действия (например, повышение - снижение, аккумуляция - эрозия, нагревание - охлаждение и т.д.), виды - по конкретному техногенному влиянию, связанному с определенной группой источников воздействия (например, отсыпка терриконов, отвалообразование, шахты, рудники, ТЭЦ, ТЭС, ГРЭС и т.д.).

Видовое техногенное воздействие характеризуется количественными показателями, отражающими его специфику.

При анализе классификации следует учитывать, что в ней рассмотрены лишь исходные "первичные" техногенные воздействия, а не каскадный эффект, который подлежит учету по другим критериям, главным образом, связанным с геологической средой (породы, рельеф, подземные воды и др.). С экологических позиций важно, что в рассматриваемой классификации таксоны и признаки их выделения не зависят от иерархии геологических тел и масштабного уровня исследования. Это позволяет по единому признаку оценивать экологические последствия техногенных воздействий от локальных до планетарного уровней геологических тел и литотехнических систем.

Первый класс техногенных воздействий на геологическую среду объединяет воздействия физической природы. Это самый большой и разнообразный класс, состоящий из шести подклассов.

К подклассу механического воздействия относятся техногенные воздействия на геологическую среду, оказываемые механическим путем без применения гидромеханизмов. Механическое воздействие передается на породы, рельеф, но не передается непосредственно на подземные воды; оно влияет на некоторые геодинамические процессы.

К подклассу гидромеханических воздействий относятся механические воздействия, осуществляемые с помощью гидромеханизмов. Эти воздействия связаны с геодинамическими, также в основном передаются на породы, рельеф, но не передаются на подземные воды.

Подкласс гидродинамических воздействий объединяет собственно гидродинамические воздействия на подземные воды, на их гидродинамический режим. Воздействия этого подкласса влияют как на вещественные компоненты геологической среды (горные породы и подземные воды), так и на геодинамические процессы. При этом изменения рельефа проявляются как следствие этих воздействий в результате активизации геодинамических процессов.

Экологические последствия, связанные с этими тремя подклассами воздействия, достаточно близки между собой, так как объединены рамками ресурсной

Классификация техногенных

Класс и подкласс воздействия		Тип воздействия	Вид воздействия	Компоненты геологической среды*					
				П	Г	И	В	Р	Д
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Физическое воздействие	Механическое воздействие	Уплотнение	Статическое (гравитационное)	П	Г	И			
			Виброуплотнение	П	Г	И			Д
			Укатывание	П	Г	И			Д
			Трамбование	П	Г	И			
			Взрывоуплотнение	П	Г	И			Д
		Разуплотнение	Статическая разгрузка		Г	И		Р	Д
			Динамическая разгрузка		Г	И		Р	Д
		Внутреннее разрушение массива	Бурение		Г	И			
			Дробление		Г	И			
			Фрезерование		Г	И			
			Откалывание		Г	И			
			Рытье, экскавация	П	Г	И			
			Взрывное разрушение		Г	И			Д
			Распахивание, культивация	П				Р	
		“Аккумуляция” рельефа	Отсыпка терриконов			И		Р	Д
			Отвалообразование			И		Р	Д
			Создание насыпей			И		Р	Д
			Создание дамб			И		Р	Д
		Планировка рельефа	Строительная планировка	П	Г	И		Р	Д
			Дорожная планировка	П	Г	И		Р	Д

воздействий на литосферу

Показатели воздействия, единицы измерения	Потенциальные источники воздействия	Экологические последствия воздействия
11	12	13
Давление, МПа Амплитуда, мм Частота, Гц Уд. энергия, Вт/м ²	Здания, сооружения Вибромеханизмы Автотранспорт, катки Взрывы	Снижение комфортности проживания, вынужденная миграция ряда животных, трансформация биоценозов
То же	Шахты, полости, котлованы Взрывы	Изменение качества ресурса геологического пространства, снижение комфортности проживания
Глубина скважин, м Работа, Дж Мощность, Вт Уд. энергия, Вт/м ²	Буровые скважины Горные комбайны Горные выработки Карьеры, разрезы Шахты, штольни Взрывы Агротехническая деятельность	Снижение комфортности проживания, трансформация природных экосистем, изменение качества ресурса геологического пространства, снижение минерально-сырьевого ресурса территории, трансформация плодородия почв
Коэффициент измененности Уд. энергия, Вт/м ²	Шахты, рудники ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС Комбинаты обогатительные Строительство	
То же	Строительство	Улучшение качества ресурса геологического пространства, улучшение комфортности проживания

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Физическое воздействие	Механическое воздействие	Планировка рельефа	Рекультивация Террасирование склона	П	Г Г	И		Р Р	Д Д
		“Эрозия” рельефа	Формирование выемок	П	Г	И		Р	Д
			Рытье каналов, котлованов, разрезов	П	Г	И		Р	Д
			Подрезка склонов		Г			Р	Д
			Образование мульд проседания и опускания	П	Г	И		Р	Д
	Гидромеханическое воздействие	Гидроаккумуляция рельефа	Гидронамыв дамб, плотин			И		Р	Д
			Намыв золотвалов			И		Р	Д
			Намыв насыпей, массивов			И		Р	Д
		Гидроэрозия рельефа	Гидроразмыв массивов		Г	И		Р	Д
			Просадочно-суффозионное воздействие	П	Г	И	В	Р	Д
	Гидродинамическое воздействие	Повышение напора	Нагнетание, инъекция				В		
			Подтопление		Г	И	В		Д
			Орошение	П	Г	И	В		Д
		Снижение напора	Откачки				В		
			Дренажирование	П	Г	И	В		Д
			Осушение	П	Г	И	В		Д
	Термическое воздействие	Нагревание	Кондуктивное (до 100°C)	П	Г	И	В		
			Конвективное (до 100°C)	П	Г	И	В		
			Обжиг (более 100°C)	П	Г	И			

11	12	13
Коэффициент измененности Уд. энергия, Вт/м ²	Объекты рекультивации Объекты мелиорации	Улучшение качества ресурса геологического пространства, улучшение комфортности проживания
То же	Карьеры, разрезы Котлованы, каналы Дорожное строительство Шахты, рудники	Снижение качества и потеря ресурса геологического пространства, снижение комфортности проживания. Перенос населенных пунктов, отдельных зданий и сооружений, снижение комфортности проживания, деградация и смена растительности, потеря ресурса геологического пространства
“-”	Строительство ТЭЦ, ТЭС Хвостохранилища Шламонакопители	Снижение и потеря ресурса геологического пространства
“-”	Карьеры, разрезы Драги Водозаборы, подземное выщелачивание	Снижение и потеря ресурса геологического пространства. Снижение комфортности проживания, деградация ландшафта
Изменение напора, уровня влажности Уд. энергия, Вт/м ²	Закачки, сбросы Утечки, промстоки Сельскохозяйственные поливы, гидромелиорация	Изменение качества ресурса геологического пространства, изменение условий питьевого водоснабжения (качества жизни), трансформация растительного покрова
То же	Водозаборы Объекты мелиорации	Изменение качества ресурса геологического пространства и комфортности проживания
Температура, термический градиент, град/м Уд. энергия, Вт/м ²	Домны, ТЭЦ, АЭС, ТЭС, ГРЭС, горячие цеха Подземная выплавка серы, газификация углей	Снижение комфортности проживания, трансформация биоценозов, потеря ресурса геологического пространства. Изменение качества геологического пространства

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Физическое воздействие	Термическое воздействие	Нагревание	Плавление		Г	И			
			Термическое упрочнение		Г	И			
			Биохимическое	П	Г	И	В		
		Охлаждение	Кондуктивное		Г	И	В		
			Конвективное		Г	И	В		
			Замораживание	П	Г	И	В		
	Электромагнитное воздействие	Стихийное	Наводка электрических полей	П	Г	И			
		Целенаправленное	Электрообработка		Г	И			
			Электроосмос	П	Г	И	В		
	Радиационное воздействие	Загрязнение	Короткоживущее радионуклидное	П	Г	И	В		
Долгоживущее радионуклидное			П	Г	И	В			
Очистка (дезактивация)		Химическое	П	Г	И	В			
		Электрохимическое	П	Г	И				
Физико-химическое воздействие	Гидратное	Биологическое	П	Г	И	В			
		Механическое	П	Г	И				
	Кольматирование	Физическое	П	Г	И				
		Физико-химическое	П	Г	И				

11	12	13
Температура, термический градиент, град/м Уд. энергия, Вт/м ²	Объекты технической мели- орации Полигоны ТБО	Снижение комфортности прожива- ния, трансформация биоценозов, потеря ресурса геологического пространства. Изменение качества геологического пространства
То же	Холодильники Закачки растворов Объекты технической мелиорации	Изменение качества геологическо- го пространства
Напряженность, В/см Плотность, А/м ²	ЛЭП, линии железных дорог, метрополитен, линии трамваев, троллейбусов, электросети	Нарушение функций головного мозга и психики людей, разруше- ние их иммунной системы. Прямое воздействие на здоровье человека
То же	Объекты технической мелиорации	Изменение качества ресурса геоло- гического пространства
Радиоактивность мР/ч, мР/ч-м ² , Б/кг(л)	Ядерные взрывы Выбросы АЭС Склады радиоактивных веществ, АЭС, заводы по переработке радиоактив- ных веществ	Лучевая болезнь, онкология, трансформация биоценозов, изменение качества, длительная потеря ресурса геологического пространства
То же	Объекты дезактивации и реа- билитации	Улучшение качества ресурса гео- логического пространства
Градиент влажности	Асфальтовые покрытия Дренажные системы	Изменение качества ресурса геоло- гического пространства
Объем кольматации, м ³	Объекты технической мели- орации	Улучшение качества ресурса гео- логического пространства

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Физико-химическое воздействие	Выщелачивание	Прямое		Г	И	В			
		Диффузное		Г	И	В			
	Ионнообменное	Солонцевание Собственно ионно-обменное	П П	Г Г	И И				
Химическое воздействие	Загрязнение	Фенольное, хлорфенольное	П	Г	И	В			
		Нитратное	П	Г	И	В			
		Пестицидное	П	Г	И	В			
		Гербицидное	П	Г	И	В			
		Тяжелыми металлами	П	Г	И	В			
		Углеродородное	П	Г	И	В			
		Кислотное	П	Г	И	В			
		Щелочное	П	Г	И	В			
		Засоление	П	Г	И	В			
	Очистка	Нейтрализация	П	Г	И	В			
		Рассоление	П	Г	И	В			
		Разбавление	П	Г	И	В			
	Закрепление массивов	Цементация		Г	И				
		Силикатизация		Г	И				
		Битумизация		Г	И				
		Смолизация		Г	И				
		Известкование и др.	П	Г	И				
Биологическое воздействие	Загрязнение	Бактериологическое	П	Г	И	В			
		Микробиологическое	П	Г	И	В			
	Очистка	Стерилизация	П	Г	И	В			

*Компоненты геологической среды, на которые потенциально может передаваться данный вид воды; Р – рельеф; Д – геодинамические процессы.

11	12	13
Уд. энергия, Вт/м ²	Объекты выщелачивания	Изменение качества ресурса геологического пространства, снижение минерально-сырьевого ресурса
Емкость обмена, мг-экв/100 г	Мелиорация земель	Улучшение качества ресурса геологического пространства
Концентрация загрязнителя, мг/г, мг/м ³ Превышение ПДК Объемная скорость массопереноса, г/с·м ²	Химические фабрики Фермы, поля орошения Склады отходов Сельскохозяйственная деятельность Транспорт, выбросы АЗС, нефтехранилища Кислотные дожди Предприятия, стоки Внесение удобрений, промстоки	Повышение заболеваемости населения ноозологическими видами болезней. Деградация, возможная гибель живых организмов и флоры, потеря качества ресурса геологического пространства
То же	Мелиорация земель	Улучшение качества ресурса геологического пространства
Объем закрепления, м ³	Объекты технической мелиорации	Изменение качества ресурса геологического пространства
Превышение ПДК. Уд. скорость переноса	Свалки ТБО Сельскохозяйственные фермы, склады Силосные ямы Канализация	Дискомфортность проживания населения, желудочные инфекционные заболевания, долговременные потери качества ресурса геологического пространства
То же	Объекты очистки	Улучшение качества ресурса геологического пространства

техногенного воздействия: П – почвы; Г – горные породы; И – искусственные грунты; В – подземные

и геодинамической экологической функциями литосферы, ее экологическими свойствами. Экологический диапазон последствий весьма широк и охватывает следующие основные направления. Прямое воздействие на человека связано со снижением комфортности проживания, а иногда и с необходимостью отселения и даже гибелью людей при деформации и разрушении зданий, горных выработок и крупных инженерных сооружений. Механическое воздействие влияет и на диких животных, приводя к их гибели или миграции в более спокойные места обитания. Если посмотреть на потенциальные источники воздействия, связанные с рассматриваемыми подклассами, неизбежно вытекает вывод, что именно с ними связаны потери минерально-сырьевых ресурсов, снижение качества и площадей ресурса геологического пространства - важнейших факторов, определяющих стабильность функционирования экосистем высокого уровня организации.

Подкласс термических техногенных воздействий обусловлен действием тепловых полей, а точнее —их отклонениями от природного фона. Термическое техногенное воздействие вне криолитозоны в основном влияет непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды: горные породы и подземные воды, и в меньшей мере влияет на рельеф и геодинамические процессы. В пределах же криолитозоны это воздействие оказывается одним из ведущих, существенно влияющим на все без исключения компоненты геологической среды, включая рельеф и различные геодинамические процессы. По сути этим определяется спектр и территориальная приуроченность экологических последствий, чаще всего приводящая к снижению комфортности проживания населения, трансформации биогеоценозов, изменению качественных и количественных характеристик ресурса геологического пространства.

К подклассу электромагнитных техногенных воздействий относятся воздействия, осуществляемые под действием электрических, магнитных или электромагнитных полей. Электромагнитные воздействия влияют непосредственно лишь на вещественные элементы геологической среды - горные породы и подземные воды - и не влияют на рельеф и геодинамику территории. В экологическом отношении последствия воздействия этих полей, а точнее их аномальных значений, достаточно серьезны. Они приводят к рассогласованию ритмов головного мозга у человека и нарушению его психической функции, а также разрушению иммунной системы, т.е. непосредственно влияют на здоровье людей и условия их существования. Для урбанизированных территорий стал актуальным вопрос о регламентации мощности и режима работы электромагнитных излучателей.

Подкласс радиоактивных воздействий объединяет воздействия, вызванные радиацией. Они не оказывают влияния на рельеф и геодинамические процессы, а влияют только на вещественные элементы геологической среды: **горные** породы и подземные воды. Экологическими последствиями этих воздействий являются онкология, лучевая болезнь, мутагенные изменения, т.е. факторы, определяющие не только здоровье, но и саму возможность существования человека. Одновременно аномалии радиационных полей резко ухудшают **качество** ресурса геологического пространства ("Чернобыльский след"). Дезактивация приводит к **его** улуч-

шению и приближению к фоновым значениям. Установлено, что с радиационными полями повышенной активности (дозы излучения) связаны аномалии в развитии растительности (явления гигантизма ягод, грибов и др.).

Во второй класс объединены техногенные воздействия физико-химической природы, т.е. воздействия, обусловленные различными поверхностными физико-химическими явлениями и поглотительной способностью пород (адсорбцией, диффузией, осмосом, капиллярными явлениями и т.д.). Поэтому воздействия данного класса влияют лишь непосредственно на вещественные элементы геологической среды. Здесь выделяются такие типы воздействий, как гидратное, осуществляемое за счет техногенной гидратации или дегидратации пород, кольматирование пород, выщелачивание и ионообменное воздействие.

Экологические последствия этих воздействий связаны в основном с изменением качества геологического пространства как в сторону улучшения, так и его снижения. Процессы выщелачивания (например, серы) могут влиять на ресурсы минерально-сырьевой базы и снижение комфортности проживания населения.

Третий класс включает в себя воздействия химической природы, обусловленные химическим взаимодействием различных веществ и компонентов геологической среды - пород и подземных вод. Воздействия этого класса влияют лишь на вещественные компоненты геологической среды и не влияют непосредственно на рельеф и геодинамические процессы. В этом классе выделяются три типа техногенных воздействий - химическое загрязнение, химическая очистка и химическое закрепление массивов горных пород.

Экологические последствия химического загрязнения связаны со специфическими формами заболевания населения (гипер- и гипозэлементозы), нарушения функции гомеостатической регуляции организма с развитием мутаций и другими тяжелыми последствиями, а в целом приводят к патогенезу живых организмов. С ореолами техногенного загрязнения связано и резкое ухудшение качества ресурса геологического пространства, а иногда и потеря его на длительное время. С химической очисткой и закреплением массивов горных пород связано улучшение качества жизни и улучшение качества ресурса геологического пространства.

В класс биологических воздействий объединяются техногенные воздействия биологической, точнее микробиологической, природы, которые произвольно или непроизвольно вызываются человеком. Биологические техногенные воздействия оказывают влияние только на вещественные элементы геологической среды: горные породы и подземные воды и не влияют непосредственно на рельеф и геодинамические процессы. Среди них выделяются **два** типа воздействий - биологическое загрязнение и очистка компонентов геологической среды.

Экологические последствия биологических воздействий выражаются либо в увеличении заболеваемости людей инфекционными болезнями (загрязнения), либо в улучшении здоровья и качества жизни населения (биологическая очистка компонентов геологической среды). Разновидности при физическом, физико-химическом и химическом воздействиях выделяются по признакам: времени (постоянные, временные), размера (точечные, линейные, площадные, объемные), поло-

жения (наземные, подземные), обратимости (обратимые, необратимые); при радиационном типе воздействия добавляется воздействие по виду радионуклидов, а при биологическом - по виду микроорганизмов.

Содержание табл. 64 и сделанные к ней комментарии свидетельствуют о широком диапазоне техногенных воздействий на экологические функции литосферы, биоту и широком спектре их экологических последствий. Последние сводятся к ухудшению комфортности проживания, повышению заболеваемости и вынужденной миграции населения, деградации природных биоценозов, снижению качества и потере ресурса геологического пространства, истощению минерально-сырьевых ресурсов. Очевидно, что настало время более действенного экологического контроля за деструктивными формами техногенного воздействия и порождающими их причинами.

9.3. Типизация литотехнических систем по экологической опасности

Экологическая опасность литотехнических систем может быть обусловлена: прямым воздействием технической подсистемы на человека и другие живые организмы при функционировании литотехнических систем в проектном режиме; изменениями геологической подсистемы как биотопа при функционировании литотехнической системы в проектном режиме;

прямым воздействием технической подсистемы на человека и другие живые организмы в аварийных ситуациях, при нарушении технологии строительства и эксплуатации;

изменениями геологической подсистемы как биотопа в аварийных ситуациях, при нарушении технологии строительства и эксплуатации.

В первом и втором случаях опасность должна рассматриваться как неизбежная, в третьем и четвертом - как случайная.

К числу экологически опасных прямых воздействий, как показано ранее, относятся электромагнитное и радиоактивное излучение, вибрация. Перечень экологически опасных техногенных изменений геологической подсистемы приведен в табл. 65.

Степень опасности перечисленных воздействий и изменений определяется их интенсивностью и экстенсивностью (площадной пораженностью). Этот вопрос был рассмотрен в гл. 2 при описании критериев оценки состояния эколого-геологических условий и степени нарушенности экосистем в целом.

Понятно, что чем выше активность (интенсивность и экстенсивность) прямых техногенных воздействий и изменений, тем больше вероятность негативных экологических последствий и, следовательно, тем выше степень опасности литотехнических систем (табл. 66). В ней выделено три категории опасности литотехнических систем, которые хорошо коррелируются с зонами нарушенности

Таблица 65

**Экологически опасные техногенные изменения геологической подсистемы
литотехнических систем (составила Т.И.Аверкина)**

Вид техногенного изменения	Поведение экологических функций
Сокращение запасов полезных ископаемых	Изменение ресурсной функции
Нарушение сплошности массивов	
Эрозия и дефляция почв	
Осушение почв	
Подтопление	
Заболачивание	Изменение геофизико-геохимического фона
Сработка уровней подземных вод	
Загрязнение, в том числе засоление почв	
Загрязнение, в том числе засоление подземных вод	
Накопление токсичных компонентов в грунтах	
Повышение температуры почв, пород, вод	Изменение геодинамической функции
Понижение температуры почв, пород, вод	
Эрозия рельефа	
Аккумуляция рельефа	
Линейная эрозия	
Эоловые процессы	
Оползни	
Обвалы	
Лавины	
Сели	
Наведенная сейсмичность	

Таблица 66

**Категории экологической опасности литотехнических систем (ЛТС)
(составила Т.И.Аверкина)**

Экстенсивность опасных прямых воздей- ствий и изменений геологи- ческой среды	Степень экологической опасности ЛТС при интенсивности воздействий и изменений геологической среды		
	низкой	средней	высокой
Низкая	Практически безопасные ЛТС (0)	Низкая (I)	Повышенная (II)
Средняя	Низкая (I)	Повышенная (II)	Высокая (III)
Высокая	Повышенная (II)	Высокая (III)	Очень высокая (IV)

Примечание: если в пределах ЛТС фиксируется несколько опасных прямых воздействий или изменений, степень опасности определяется по наиболее интенсивным и экстенсивным.

экосистемы (нормы риска и кризиса). Интенсивность и экстенсивность изменений геологической подсистемы, в свою очередь, зависят от ее исходных параметров, а также специфики и размеров технической подсистемы. Чем больше свалка или карьер, тем, как правило, активнее их воздействие на геологическую подсистему и тем активнее изменение последней.

Руководствуясь изложенными представлениями, Т.И.Аверкина выполнила анализ возможных последствий работы различных типов локальных литотехнических систем. Определены категории их экологической опасности при функционировании в проектном режиме и в аварийных ситуациях. При этом из-за отсутствия критериев не учитывалась опасность истощения ресурсов (ресурсной экологической функции литосферы). Для ряда литотехнических систем введена поправка на низкую экологическую буферность подсистемы. Эти данные приведены в монографии "Теория и методология экологической геологии" (1997).

Выполненную оценку необходимо дополнить одним существенным замечанием. Говоря об экологической опасности, нельзя забывать, что многие литотехнические системы создаются исключительно для удовлетворения **биологических** потребностей людей и в этом смысле имеют положительный экологический эффект. Но, выполняя одни запросы человека, они неизбежно или случайно (в аварийных ситуациях) мешают удовлетворению других. Т.И.Аверкина поставила в связи с этим вопрос о введении понятия "экологического КПД" литотехнических систем. Такой показатель мог бы в качественной или количественной форме отражать соотношение положительных и отрицательных последствий функционирования литотехнических систем и служить основанием для принятия управляющих решений.

9.4. Экологическая роль и функции литотехнических систем

Литотехнические системы, как уже отмечалось выше, тесно связаны с техногенезом и являются порождением человеческой цивилизации. Следовательно, их основное предназначение - обеспечивать потребности, запросы этой цивилизации, способствовать ее дальнейшему развитию. Эту тенденцию в развитии литотехнических систем можно определить как *потребительскую* по отношению к природе - истощение минерально-сырьевых ресурсов, снижение качества и ресурса **геологического** пространства. А плата за стремление к комфорту - снижение иммунной защиты и ухудшение здоровья. Для снижения негативного эффекта от плодов цивилизации человечество вынуждено было создать еще один тип литотехнических систем, наделив их *защитными* функциями. Они могут быть представлены средствами защиты:

среды обитания от техногенных воздействий (от химического и биологического загрязнения, резких температурных изменений и т.д.);

человека от прямых негативных техногенных воздействий (опасных физических полей и т.д.);

человека от неблагоприятных природных, в том числе и геологических процессов.

Следующая функция, присущая большинству литотехнических систем, - *средообразующая*. Она может быть подразделена на *конструктивную и деструктивную*. О конструктивной функции можно говорить, если в результате деятельности системы изначально дискомфортная среда преобразуется в благоприятную для человека и других живых организмов. Такой эффект наблюдается при рациональном орошении засушливых массивов или осушении избыточно увлажненных, закреплении грунтов методами технической мелиорации и т.д. Снижение уровня биологической комфортности в результате функционирования литотехнической системы свидетельствует о деструктивной роли последних.

Ряд литотехнических систем выполняет *перераспределительную*, или *транспортную* функцию, которая заключается в передаче вещества и энергии от одного объема литосферы к другому с помощью, например, каналов.

В контексте с экологическими функциями можно предложить следующие литотехнические системы:

- снижающие ресурсный потенциал - объекты горно-добывающей и горно-перерабатывающей промышленности (карьер, угленосное геологическое тело и т.д.);

- повышающие ресурсный потенциал (ресурсосберегающие технологии, техническая мелиорация пород, укрепленная методами технической мелиорации толща пород и т.д.);

- снижающие напряженность геохимических и геофизических аномалий (системы дезактивации, рекультивации массивов горных пород и т.д.);

- повышающие напряженность геохимических и геофизических аномалий (полигоны захоронения отходов, технологии с применением токсичных соединений и др.);

- снижающие геодинамический потенциал территории (горные работы, котлованы, подрезка склонов и т.д.);

- повышающие геодинамический потенциал территории (средства инженерной защиты).

Все эти ЛТС органически связаны с ресурсной, геодинамической, геохимической и геофизической экологическими функциями литосферы (или с одной из них, или с их комбинациями).

В заключение следует подчеркнуть, что приведенная оценка экологических последствий техногенного преобразования литосферы связывалась в основном с изучением изменений экологически важных параметров геологических подсистем литотехнических систем. Закономерности этих изменений обусловлены связями между техническими и геологическими компонентами. Предполагалось, что чем выше степень изменения экологически важных геологических параметров, тем выше степень экологической опасности литотехнических систем.

Возможен, однако, и другой подход к исследованию экологических функций техногенно нарушенной литосферы - посредством выделения и изучения эколого-геологических систем с учетом воздействия природных и техногенных факторов на геологический компонент природной среды. При этом усиливаются биологический и социально-экономический аспекты исследований.

Литература

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. -М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

ЧАСТЬ III

МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ

ГЛАВА 10

ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

10.1. Общая структура эколого-геологических исследований

Изучение эколого-геологических систем требует решения большого числа теоретических и практических вопросов. Для этого используются методы различных наук, которые в методическом плане выполняются в определенной последовательности в соответствии с общей структурой эколого-геологических исследований (рис. 39).

В общей структуре эколого-геологических исследований обособляется четыре основных блока:

информационный (I), целью которого следует признать формирование оптимальной в качественном и количественном отношении информационной базы дальнейших исследований;

аналитический (II), в рамках которого выполняется функциональный анализ эколого-геологической системы, осуществляются анализ и оценка особенностей компонентов литосферы, информации по смежным внешним природным сферам (атмосфера, почвы, поверхностная гидросфера), информации по техническим объектам воздействия и данных о реакции живых организмов и человека на это воздействие. Анализуются прямые и обратные связи между литосферными, техниче-

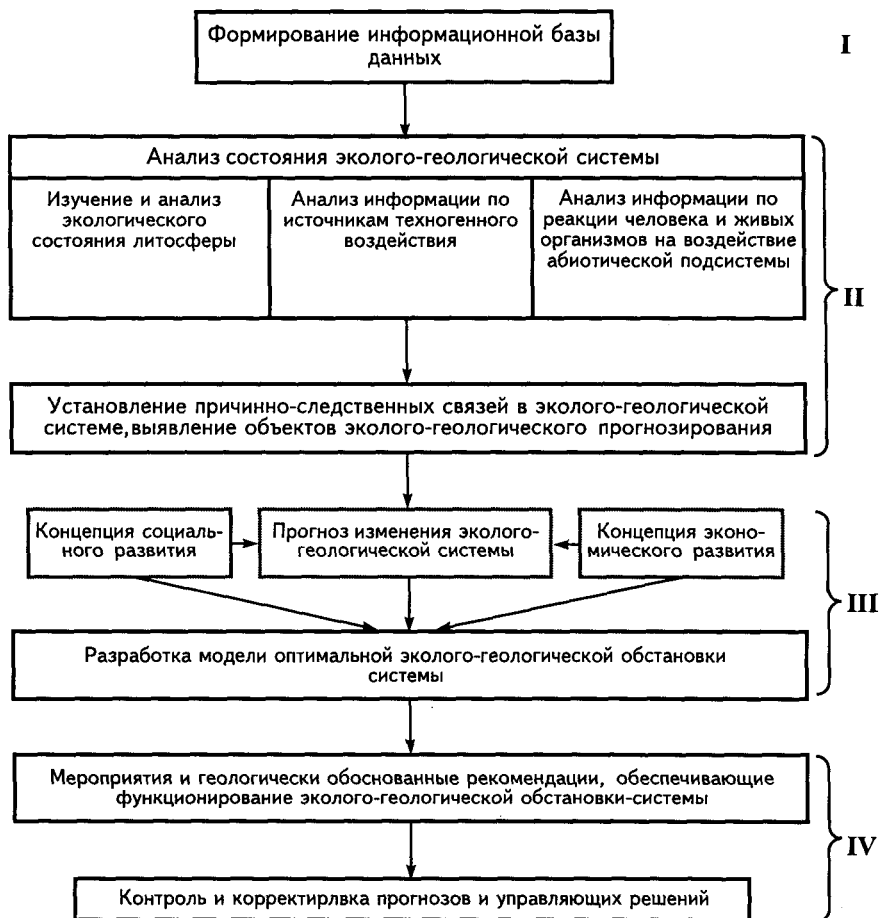


Рис. 39. Общая структура эколого-геологических исследований
(по М.Б.Куринову, с изменениями и дополнениями)

скими и биотическими компонентами исследуемой системы, выявление тенденций в их взаимоотношениях и связанные с этим экологические последствия;

прогнозный (III), в рамках которого разрабатывается прогноз изменения эколого-геологических условий (обстановок) при тех или иных концепциях социально-экономического развития, необходимый для геологического обоснования управляющих решений по снижению отрицательных последствий техногенного прессинга на литосферу и биоту и разработки оптимальной эколого-геологической обстановки-системы;

контрольно-управленческий (IV), в рамках которого разрабатывается геологическое обоснование обеспечения оптимального функционирования экосистем, осуществляется контроль за исполнением (реализацией) принятых управляющих решений, за работой защитных сооружений и мероприятий, корректировка управляющих решений на основе проверки и уточнения прогнозных оценок.

Эта структура эколого-геологических исследований предусматривает и вполне определенную этапность выполнения работ. На первом этапе формируется база данных о вещественном составе компонентов литосферы и развитых в ней геофизических полях, что требует знаний о геологическом, геоморфологическом строении исследуемого блока литосферы, его гидрогеологических, геокриологических, геохимических и геофизических условиях и степени их **нарушенности**, т.е. современного их состояния. Это собственно геологические исследования. Одновременно собирается информация об источниках техногенного воздействия, их специфике, количествах выбросов в окружающую среду или складировании и захоронении отходов производства и действующих технологиях. Собранный материал должен обеспечить оценку площадного загрязнения и его динамику в количественных характеристиках. Параллельно с названными исследованиями осуществляется сбор информации по биохимической ситуации, медико-статистической и биосубстратной характеристиках территории, гипер- и гипозлементозным заболеваниям, состоянии флоры, фауны, т.е. всех характеристик, отражающих степень нарушенности экосистемы. Необходимо подчеркнуть, что эколог-геолог не проводит самостоятельно таких специфических исследований, а собирает их в соответствующих организациях, взаимодействуя со специалистами разного профиля работы. Именно эта информация дает основание называть весь комплекс базы данных эколого-геологическим. Без нее все исследования не выходят за рамки традиционных, например, инженерно-геологических или геохимических работ.

На втором этапе исследований проводится функциональный анализ системы, включая функциональное зонирование территории, и устанавливаются причинно-следственные связи в рассматриваемой системе "литосфера-техногенные объекты-биота" либо "литотехническая система-биота", влияющие на изменение эколого-геологических условий (обстановок). На этом же этапе устанавливаются существующие конфликтные ситуации, определяются приоритеты охраны и рационального использования природной среды.

На третьем этапе осуществляется прогноз изменения эколого-геологических условий в результате взаимодействия природных и техногенных факторов. Следовательно, необходима информация о динамике изменения компонентов литосферы под влиянием этих факторов (данные мониторинга, или режимных наблюдений, позволяющие выявить тенденцию этих изменений), а также сведения о социальной и экономической политике в развитии (на временной интервал прогноза) исследуемой территории. И на этом этапе работы эколог-геолог не может ограничиться только результатами профессиональных исследований, а вынужден обращаться в плановые и директивные органы для получения необходимой социально-экономической информации, без которой нельзя создать пространственно-временной прогноз. Именно на его основе создается модель оптимальной эколого-геологической обстановки-системы.

На четвертом этапе выполняется геологическое обоснование экологически ориентированных управляющих и природоохранных решений, осуществляется контроль за их выполнением, а в случае необходимости проводится корректировка

прогнозов и управляющих решений. На этом этапе эколог-геолог выступает в качестве соучастника в реализации принятых решений. Именно на этом этапе должен осуществляться наиболее тесный контакт эколога-геолога со специалистами планово-директивных органов.

10.2. Методы геологических и других наук, используемые для получения эколого-геологической информации

Методы геологических наук. Общая структура эколого-геологических исследований однозначно свидетельствует, что для ее практической реализации необходим широкий спектр методов исследования, причем не только наук о Земле, но и биологических, медицинских (экологическая медицина) и социально-экономических. Осмысливание полученной этими принципиально различными методами информации возможно только на основе методологии системного подхода, так как объекты исследования находятся между собой в сложных причинно-следственных зависимостях и связях.

Общее представление о методах наук о Земле, используемых для получения эколого-геологической информации, дает содержание табл. 4 (см. гл. 2).

В основе оценки минерально-сырьевых ресурсов ресурсной экологической функции литосферы лежат методы геологии полезных ископаемых (поисковые, опробования, подсчета запасов, оценки месторождений полезных ископаемых). Эти базовые методы дополняются методами геохимии (литохимическими, гидро-геохимическими, биохимическими, атмосферическими) и геофизическими (гравиметрическими, магнитными, электромагнитными, сейсмическими, ядерно-физическими), которые используются при поисках и разведке полезных ископаемых. Кроме того, при оценке минерально-сырьевых ресурсов широко используются многочисленные методы петрологии, литологии и минералогии, связанные с изучением вещественного состава как полезного ископаемого, так и вмещающих пород. Методы других геологических наук являются сопутствующими.

Ресурсы подземных вод исследуются базовой наукой - гидрогеологией (методы подсчета запасов подземных вод, методы количественной оценки подземного стока и др.). Для решения поставленных задач широко используются методы геофизики (электромагнитные, сейсмические, ядерно-физические и термические) и геохимии (гидрогеохимическое, геохимическое районирование и картирование).

Ресурс геологического пространства традиционно оценивается методами инженерной геологии (инженерно-геологическая съемка и картографирование, инженерно-геологическое районирование, методы полевого и лабораторного изучения горных пород и массивов, моделирования геологических процессов) и геокриологии (методы мерзлотной съемки и др.). Методы остальных наук используются как частные и чаще всего входят в комплекс полевых и опытных инженерно-геологических работ.

Геодинамическая функция литосферы изучается методами базовых наук - инженерной геологии (инженерно-геологическая съемка и картографирование, геодинамическое районирование, методы полевых работ, режимных наблюдений, полевого и лабораторного изучения горных пород и массивов, моделирования геологических процессов, оценки устойчивости склонов, микросейсмическое районирование), геокриологии (методы мерзлотной съемки, режимных наблюдений, мерзлотного прогноза), геоморфологии, а для эндогенной ее составляющей - методами тектоники, сейсмотектоники, геофизики и геохимии. Именно они дают информацию о механизме развития и закономерностях пространственной приуроченности деструктивных процессов и динамике их развития. Эта информация позволяет оценить экологическую значимость геологических процессов как природного, так и антропогенного происхождения. Методы остальных наук о Земле, хотя и используются для решения отдельных вопросов, имеют подчиненное значение.

Геохимическая функция литосферы является ведущей при оценках последствий естественных и техногенных "загрязнений" литосферы. Последние в настоящее время проявляются практически во всех компонентах верхней части разреза литосферы под влиянием техногенеза. Основными базовыми методами изучения геохимических полей и оценки их воздействий на биоту являются методы геохимии: атмосферический, литохимический, гидрогеохимический, биогеохимический, снеохимический (снеговая съемка), а также геохимическое картирование и районирование. В последнее время для этих целей стали широко применяться и некоторые геофизические методы - радиометрия, радиолокационное зондирование и методы физического контроля, а из методов гидрогеологии - опытно-миграционные. Методы остальных геологических наук имеют подчиненное значение.

Основными базовыми методами изучения геофизической экологической функции литосферы являются методы геофизики (гравиметрические, магнитные, электромагнитные, сейсмические, ядерно-физические, термические), за каждым из которых стоит оценка интенсивности поля, выявление соответствующего физического поля. По мере необходимости они дополняются методами геотектоники, инженерной геологии и геокриологии. Широкое применение при эколого-геологических исследованиях получили методы следующих наук.

Инженерная геология. К методам этой науки, в первую очередь, относятся инженерно-геологическое картирование (съемка, картографирование), районирование, мониторинг (табл. 67). К частным методам, находящим применение при изучении экологических функций литосферы, можно отнести методы целенаправленного изучения показателей состава, структуры, состояния и свойств грунтов и массивов. Многие из них позволяют целенаправленно обосновать мероприятия по приданию неустойчивым породам новых свойств, улучшающих экологическую обстановку; при доработке вполне возможен их переход в разряд специальных методов экологической геологии.

Геокриология. Комплекс ее методов, в частности, мерзлотная, или геокриологическая съемка и картографирование также широко используется при эколого-геологическом картировании районов развития многолетнемерзлых пород. Это

**Методы геологических наук, используемые для получения
эколого-геологической информации**

Методы наук о Земле		Экологические функции литосферы					
		Ресурсная			Геодинамическая	Геохимическая	Геофизическая
		Минеральные ресурсы	Биогенные элементы	Геологическое пространство			
1	2	3	4	5	6	7	8
Инженерная геология	Инженерно-геологическая съемка	+	+	+++	+++	+	+
	Инженерно-геологическое картографирование	+	+	+++	+++	+	+
	Дистанционные методы исследования (аэро- и космические)	+	-	+++	+++	-	-
	Разведочные работы (бурение, горные)	+++	+++	+++	++	+	-
	Методы изучения твердой компоненты породного массива	++	++	+	+	+++	+
	Методы изучения состояния и свойств пород и массивов	-	-	+	+++	-	-
	Методы изучения газовой компоненты пород	+	-	+	-	+++	-
	Методы изучения жидкой компоненты пород	++	+	++	+	+++	+
	Методы технической мелиорации пород	-	-	++	+	+	+
	Стационарные наблюдения	-	-	+	+++	-	-
Гидрогеологии	Гидрогеологическая съемка	+++	+	+	++	++	+
	Гидрогеологическое картирование	+++	+	+	++	++	+
	Полевые опытные гидрогеологические работы	+	-	-	+	+	-
	Гидродинамические методы	-	-	-	+	+	-
	Метод гидрогеологических аналогий	++	-	-	-	++	-

1	2	3	4	5	6	7	8
Геоокриологии	Гидрохимические методы	++	+	-	-	+++	-
	Методы оценки запасов подземных вод	+++	-	+	-	-	-
	Балансовый метод	+++	-	+	-	-	-
	Стационарные гидрогеологические исследования	++	-	-	++	++	-
	Методы увеличения и восстановления водообильности скважин	++	-	-	-	-	-
	Методы изоляции водоносных горизонтов	+	-	+	-	++	-
	Мерзлотная съемка	+	-	+++	+++	+	+
	Геоокриологическое картографирование	+	-	+++	+++	+	+
	Опытные буровые и горные работы	++	-	++	+	-	-
	Методы изучения состава, криогенного строения и свойств пород	-	-	++	++	+	-
	Лабораторные и полевые исследования	+	-	+	++	-	-
	Метод аналогий	+	+	+	+	-	-
Геохимии	Опытные стационарные исследования	-	-	++	+	-	-
	Геохимическая съемка	+++	+++	++	-	+++	-
	Геохимическое картографирование	+++	+++	++	-	+++	-
	Ландшафтно-геохимические методы	+	+	+++	-	+++	-
	Биогеохимические методы	-	-	++	-	+++	-
	Полевые методы опробования	+++	+++	+	-	+++	-
Геофизики	Методы определения элементов (атомно-адсорбционный, хроматографический, рентгеноспектральный и др.)	+++	-	-	-	+++	-
	Геофизическая съемка	+	-	-	-	-	+++

1	2	3	4	5	6	7	8
Геофизики	Геофизическое картографирование	+	-	-	-	-	+++
	Дистанционные методы изучения	+	-	-	+	+	+++
	Наземные методы изучения	-	-	-	+	+	+++
	Скважинные методы изучения	+	-	-	-	-	+++
	Радиометрические методы	+	-	+	-	-	+++
	Методы изучения электромагнитных и магнитных полей	-	-	+	-	-	++
	Методы изучения гравитационного поля	+	-	+	-	-	++
	Сейсмические и сейсмоакустические методы	+	+	+	+	-	++
	Методы изучения тепловых полей	-	-	+	-	-	++
	Методы изучения вибрационных полей	-	-	+	-	-	++
	Лабораторные методы изучения	+	-	-	-	-	+++
	Методы экологически направленной персепции информации	-	-	-	-	-	+++
	Стационарные наблюдения	+	-	+	+	-	++

Примечание: Методы геологических наук используются (+), широко используются (++), очень широко используются (+++), не используются (-).

в полной мере относится и к мерзлотному прогнозу, опирающемуся на моделирование мерзотно-геологических ситуаций, метод аналогий, метод прогнозирования распространения и динамики проявления мерзлотных процессов, подземных льдов и таликов, метод экспертных оценок.

Гидрогеология. Решение задач экологической направленности для гидрогеологии не является принципиально новым. Для решения вопросов оценки запасов, охраны и защиты подземных вод от загрязнения и истощения разработаны целые комплексы методов, которые успешно используются при решении практических

задач, а методическим приемам проведения исследований посвящена многочисленная литература. В настоящее время наиболее перспективными и быстроразвивающимися являются следующие группы методов.

Полевые опытно-миграционные исследования водоносных комплексов, в процессе которых проводится индикация подземных вод с целью определения миграционных параметров. Ввод индикатора в водоносный пласт осуществляется в трех основных режимах: мгновенный подъем концентрации индикатора; "пакетный" - поддержание постоянной концентрации только в течение определенного времени запуска и "импульсный" ввод - создание больших концентраций за весьма малый промежуток времени. Условия ввода индикатора, его тип определяют конкретные методические приемы слежения и обработки информации. Этот комплекс методов опирается на целенаправленное исследование данных режимных наблюдений за процессами миграции, в том числе и при строительстве и эксплуатации техногенного объекта.

Балансовый метод используется, главным образом, как дополнительный в сочетании с гидродинамическим и гидравлическим. Он позволяет установить роль отдельных источников в формировании эксплуатационных запасов, оценить обеспеченность запасов, развитие депрессионной воронки в пределах небольших ограниченных структур, где разница в понижении уровня в центре площади и на краях незначительна, что недоступно для других методов. Сложность гидрогеологических условий и практическая невозможность количественной оценки источников формирования эксплуатационных запасов подземных вод определяют необходимость использования метода гидрогеологических аналогий. Метод основан на переносе данных о режиме эксплуатации подземных вод на участках действующих водозаборов на оцениваемые участки, находящиеся в аналогичных условиях с эксплуатируемыми.

Геохимия. К методам геохимии, в том числе гидрогеохимии, широко используемым при изучении экологических функций литосферы, относится, как уже отмечалось, широкий спектр частных методов. Атмохимические (газовые) съемки проводятся систематически для определения содержания в приземной атмосфере газов, паров металлов и различных химических веществ и их соединений. Практическая реализация этого метода может быть выполнена на стационарных и передвижных постах, а также при аэрогеохимических съемках на базе лазерного метода зондирования. Гидро- и литохимические съемки на потоках рассеивания проводятся по методикам, применяемым в поисковой и разведочной геохимии. Снегогеохимические опробования проводятся с целью оценки состава и объема вредных выбросов в атмосферу за время, определяемое сезонной сохранностью снежного покрова. Они дают представление о составе и объемах токсикантов, главным образом, тяжелых металлов, соединений углерода, серы и азота, выпадающих на единицу площади и определяющих величину модуля техногенной нагрузки. Представления об основных современных аналитических методах определения элементов дает табл. 68.

Основные методы определения элементов

Метод	Приборы	Определяемые элементы	Сущность метода	Чувствительность метода
Атомно-адсорбционный (ААС)	“Сатурн”, С-112, С-115, Спектр-4	Be, Co, Cr, Cd, Ni, Mn, Hg, Pb, Zn, Ag, Mo и др., всего 65 элементов	Метод основан на переводе образца в атомный пар и измерении степени поглощения атомами исследуемого элемента излучения стандартного источника света	1-3 мг/л, реже 0,1 мг/л
Плазменно-эмиссионная спектрометрия (ПЭС)	Пламенный фотометр и спектрофотометр	Щелочные металлы, Al, Та, лантаноиды Re, Ru и др. (~24 элемента)	То же	Зависит от минерализации подземных вод
Активационный (нейтронный)	Реактор	As, F, V, Cr, Co, Cu, Ni, Mn, Se, Sb, Hg, Ti, Zn	Метод основан на изучении ядерных реакций – облучение исследуемого образца медленными нейтронами в реакторе	0,0п-0,00п мкг/л
С помощью ионоселективных электродов		H, NH ₄ , Ag, Pb, Cd, Ca, Mg, Cu, J, Br, Cl, F, SO ₄ , HS, S, BF ₄ , NO ₂ , NO ₃ и др.	Метод основан на избирательной реакции мембранного электрода из специальных (для данного элемента) веществ на этот элемент в присутствии других ионов	

Получение эколого-геофизической информации (по В.А.Богословскому)

Экологическая функция литосферы	Задачи, решаемые с применением геофизических методов	Используемые технологические геофизические комплексы			
		Аэрокосмический	Наземный	Аквальный	Скважинный
Ресурсная	Выяснение закономерностей пространственного размещения элементов и их соединений; оценка минеральных ресурсов и выявление месторождений полезных ископаемых	+++	+++	+++	+++
Геодинамическая	Изучение геодинамических зон и аномалий (выявление тектонически активных зон, поясов и областей); сейсмологическая оценка и районирование территории	+++	+++	++	+
Геофизическая	Изучение природных и техногенных геофизических полей и выделение патогенных аномалий	+++	+++	+	+

Примечание. Количество получаемой информации: наибольшее (+++), значительное (++), ограниченное (+).

Геофизика. При изучении экологических функций литосферы широко используются различные технологические геофизические комплексы (табл. 69). Особая роль принадлежит методам радиометрии: аэро-, автогамма-спектрометрическая и пешеходная гамма-съемка, детальная радиометрическая разведка очагов загрязнения и постдезактивационный контроль, радиационное обследование промышленных предприятий и жилых массивов с целью изучения распределения и поведения естественных и искусственных радионуклидов. Радиолокационное зондирование базируется на применении современных георадаров, с помощью которых возможно проводить зондирование даже в скважинах диаметром до 56 мм и глубиной 1000 м.

Среди физических методов контроля различных загрязнителей используются ядерно-физические, люминесцентные, лазерно-флюоресцентные, ЯМР-спектроскопии, лазерной спектроскопии. Особый интерес в настоящее время представляют лазерные методы исследования с помощью лазерных анализаторов - "лидаров", обеспечивающих возможность проводить дистанционный контроль каче-

ственного и количественного состава загрязняющих веществ в пределах функционирования крупных промышленных объектов.

Геология полезных ископаемых. Ее методы являются пока практически единственными, позволяющими изучать и оценивать ресурсную функцию литосферы, точнее - ее минерально-сырьевые ресурсы. При этом следует учитывать, что методы геологии полезных ископаемых и подсчета их запасов не отвечают на главный вопрос - достаточности или **недостаточности** обеспечения ими нормального с экологических позиций существования и развития человеческого сообщества как социальной структуры. Этот вопрос остается пока открытым и требует доработки с привлечением методов экологических, медицинских и экономических наук. Именно по этой причине методы геологии полезных ископаемых рассматриваются нами в методах геологических наук, а не в составе специальных методов экологической геологии.

Методы биологических, медицинских и санитарно-эпидемиологических наук. Как уже отмечалось, эти методы широко используются при выполнении эколого-геологических исследований, сборе и анализе соответствующей биолого-медицинской информации. Сам эколог-геолог не должен и не может квалифицированно проводить такие исследования, так как они требуют специальной профессиональной подготовки.

Из биологических методов наиболее ценную информацию дают биохимические, биосубстратные и биотестирование. Первый из них основывается на изучении уровня содержания биологически активных форм химических элементов и их ассоциаций в растениях и живых организмах и определении коэффициентов биологического поглощения, биохимической активности, кларков содержаний и рассеивания. Анализируются укусы трав, листья и хвоя деревьев, мхи, лишайники, садовые и овощные культуры.

Биосубстратные методы связаны с изучением биосубстратов живых организмов (кровь, слюна, волосы, ногти, зубы, молоко, моча, шерсть, а также "критические" органы - почки, печень, костная ткань и т.д.). В этих биосубстратах определяется содержание токсичных химических элементов и их соединений.

Биотестирование (биоиндикация) как метод исследования начал использоваться достаточно широко сравнительно недавно. Наибольшее развитие он получил при оценках качества поверхностных и подземных вод. Сущность метода — по функциональному состоянию (поведению) тест-объектов (разнообразные дафнии, водоросли - хлорелла, рыбы - гуппи) дать интегральную оценку качества воды и возможность использования ее для питьевых целей. Лимитирующим фактором применения метода биотестирования является продолжительный срок проведения анализа (не менее 96 ч) и отсутствие информации о химическом составе воды. Л.С.Кожевин с соавторами (1997) предлагает для биотестирования почв, горных пород, природных и сточных вод, природных и техногенных грунтов использовать системы мультисубстратного биотестирования "Эколог", предназначенные для получения исчерпывающих данных о состоянии природных микробных сообществ с представлением полученной сложной информации в виде заключения

о наличии или отсутствии повреждений. В случае нарушения может быть определен вероятный его тип, а также другие характеристики, например, время воздействия. Использование естественного микробного сообщества в качестве биосенсора дает прекрасные результаты при решении эколого-геохимических задач. Система "Эколог" - это принципиально новый подход в биотестировании, основанный на анализе роста природного микробного сообщества на предлагаемом наборе 47 питательных веществ. Система "Эколог" ориентирована на оценку функционального состояния природного микробного сообщества в целом, которое в конечном счете определяет способность природной среды к самоочищению.

В медицине для целей экологической оценки условий территории широко применяются методы медицинской статистики - статистические данные по заболеваемости всего населения или "индикационной" группы - детского населения, рождаемости, патологии новорожденных и т.д. На этой основе оцениваются медико-санитарные (медико-гигиенические) условия проживания населения и существование живых организмов. Этот метод учитывает число человеческих жертв и число пострадавших в результате проявления катастрофических и опасных природных процессов, оценивается воздействие этих процессов на человека.

Следует упомянуть и о методе **медико-демографическом**, дающем представление о пространственной приуроченности и этиологии заболевания населения, ореолах и очагах различных токсикозов, т.е. о характере, частоте и территориальной приуроченности заболеваний населения.

В составе этих общих методов Ю.Е.Вельтищев и В.В.Фокеева (1999) рассматривают ряд частных методов, дающих более полное и объективное представление по анализируемой проблеме:

анализ государственной статистической медицинской отчетности. При этом следует учитывать, что официальные отчетные медико-статистические данные не позволяют достоверно судить об истинной распространенности заболеваний у детей в связи с невысоким качественным уровнем медицинской диагностики, несовершенством диагностических критериев патологии, отсутствием хорошей лабораторной базы в большинстве учреждений практического здравоохранения, снижением обращаемости родителей детей за медицинской помощью. Однако динамика показателей заболеваемости в течение нескольких лет все же позволяет выявить определенные тенденции в состоянии здоровья детей;

анализ демографических и репродуктивных показателей;

анализ медицинской документации;

картографирование территории и анализ распространенности маркерной хронической патологии у детей для выявления особо значимых загрязнителей окружающей среды;

анкетирование населения. Этот метод широко используется для проведения эпидемиологических исследований, когда с помощью специально разработанных вопросников можно получить необходимую информацию;

скрининг-методы для раннего выявления патологии у детей (изменение антропометрических величин, нейропсихологическое тестирование, функциональ-

ная оценка дыхательной системы, измерение артериального давления, электрофизиологические методы (ЭКГ, ЭЭГ), ультразвуковое исследование органов, измерение электрического сопротивления кожи, общий анализ крови и мочи, мочевые скрининг-тесты);

данные диспансеризации детей с хронической патологией врачами-специалистами (по профилям).

Социально-экономические науки. С ними связаны методы оценки экономического риска, экономического ущерба и социального страхования населения. Методика таких оценок с учетом геологических факторов содержится в серии публикаций А.Л.Рагозина (1995, 1997), Г.Л.Коффа (1997) и ряда других исследователей. Понятно, что исходную информацию для этих целей следует получать в директивных и административных органах и отделах страхования. Отметим, что экономические методы, оценивающие материальный ущерб и опирающиеся на показатели материального производства и затраты в непроизводительной сфере приведены в публикации М.Т.Мелешкина с соавторами (1982), а по страхованию от опасных природных процессов - в работе Г.Л.Коффа и И.В.Чесноковой (1998).

10.3. Специальные методы получения и обработки эколого-геологической информации

К этой категории методов, как показано в табл. 3, относятся эколого-геологическое картографирование, функциональный анализ эколого-геологической обстановки (условий), эколого-геологическое прогнозирование и эколого-геологический мониторинг.

Эколого-геологическое картирование. Это основной метод исследования пространственного распределения объемов геологического пространства с различными эколого-геологическими условиями. *Он основан на рациональном сочетании частных прямых или косвенных наземных методов точечного или линейного изучения параметров эколого-геологических условий и методов (площадной) экстраполяции этих данных.* В качестве последних обычно используются аэрофотоматериалы и данные аэрогеофизических работ.

Эколого-геологическое картирование как специальный метод экологической геологии находится на стадии разработки. Одним из немногих нормативных документов, регламентирующим проведение эколого-геологических исследований, являются "Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию. Масштабы 1:50 000-1:25 000", разработанные коллективом института ВСЕГИНГЕО(1990).

Эколого-геологическое картирование является самостоятельным и новым, специфическим видом геологических работ для получения информации о локальном и региональном состоянии эколого-геологических условий литосферы. Основными объектами исследований являются эколого-геологические системы

и, прежде всего, литосферные их элементы - горные породы, почвы, подземные воды, геохимические и геофизические поля, геодинамические и другие современные процессы, происходящие в естественных и нарушенных условиях, а также литотехнические системы, влияющие на состояние и параметры верхних горизонтов литосферы, а через них - и на биоту, включая человека.

Данные по параметрам атмосферы и поверхностной гидросферы - объектах, изучаемых целенаправленно специальными организациями, вовлекаются по мере необходимости и в объемах, позволяющих решать конкретные эколого-геологические задачи.

В перспективе эколого-геологическая съемка как основной метод эколого-геологического картирования будет введена в качестве обязательного вида работ при осуществлении геологических съемочных работ. Сейчас же, когда принципы и методы эколого-геологического картирования не могут считаться разработанными, целесообразно, как предлагал **В.А.Мироненко**, ввести в действие пилотную программу специализированной эколого-геологической **съемки** на первоочередных типовых полигонах для осуществления и отработки вопросов методики ее проведения.

Следует подчеркнуть еще один чрезвычайно важный момент - проведение эколого-геологической съемки требует очень высокого технического, экономического, а также специального кадрового обеспечения. Учитывая эти и ранее высказанные позиции, экологическую съемку как самостоятельный вид работ целесообразно начинать в плановом порядке в районах экологического бедствия, на интенсивно техногенно-нарушенных территориях промышленных и горно-добывающих комплексов, крупных промышленно-городских агломераций, на массивах интенсивного орошения и др. Проведение подобных специализированных исследований в таких районах и на полигонах с типичными, характерными особенностями эколого-геологических условий позволит решить принципиальные методологические и методические вопросы эколого-геологической съемки, разработать необходимые методические документы для ее проведения в рамках выполнения государственной геологической съемки.

При выполнении эколого-геологических исследований, в том числе и эколого-геологических съемочных работах, важно проследить, как справедливо отметил М.Б.Куринов (1997), всю цепочку причинно-следственных связей, характерных для эколого-геологической обстановки-системы от конкретного воздействия на геологический компонент природной среды до экологических последствий этого воздействия. Осуществление подобных исследований возможно при четко сформулированной целевой задаче, которая в конечном итоге и определяет необходимый комплекс применяемых методов, составляющих основу эколого-геологического картирования как специального метода экологической геологии.

Полученная в результате эколого-геологической съемки информация нуждается в обобщении и систематизации. Форма обобщения информации при этом может быть различной, но приоритет в настоящее время принадлежит специальным картографическим моделям —эколого-геологическим картам. Методика их составления описывается в гл. 12.

Функциональный анализ эколого-геологической обстановки. Этот метод занимает среди специальных методов экологической геологии центральное место. Именно его реализация *позволяет решить основную стратегическую задачу – произвести оценку современного состояния эколого-геологической системы, определить пути и способы достижения стабильного развития этой системы.* Методология этого метода базируется на принципах, которые широко используются и в геологии, и в экологии – системном подходе, принципе историзма, принципе целостности объекта. Это позволяет реализовать системный подход при эколого-геологических исследованиях и объединить, рассмотреть с единых методологических позиций теоретические разработки и их практическую реализацию.

Проведение функционального анализа эколого-геологической обстановки предусматривает, по М.Б.Куринову, выполнение следующих операций:

- выделение и описание эколого-геологической обстановки-системы той или иной изучаемой территории, выявление конкретных причинно-следственных связей между подсистемными элементами, контролирующими эколого-геологическую обстановку;

- проведение оценки значимости экологических функций литосферы для социума и биологических объектов;

- составление пространственно-временного прогноза развития рассматриваемой системы при планируемых техногенных и ожидаемых природных воздействиях;

- определение принципа развития, а в случае необходимости и пути поддержания существования эколого-геологической обстановки-системы.

Подчеркнем еще раз, что под эколого-геологической обстановкой-системой понимается система, в которой подсистемные элементы – геологический компонент природной среды, источники воздействия (природные и техногенные) и экологическая мишень (объекты био-, социо- и даже техносферы) тесно связаны причинно-следственными прямыми и обратными связями. Отличием этой системы является то, что ее границы определяются в первую очередь экологическими последствиями, а функционирование ее предполагает трансформацию (природного или техногенного) воздействия через геологический компонент природной среды.

Ядром эколого-геологической обстановки-системы является геологический компонент природной среды. Поэтому вся совокупность причинно-следственных прямых и обратных связей между ним и остальными элементами системы формирует область, лежащую в сфере профессиональных интересов базовой науки – экологической геологии, обладающей достаточным теоретическим и методологическим аппаратом для геологического обоснования решения экологических проблем.

Развитие такой системы подчиняется, как показал М.Б.Куринов (1997), принципу эколого-системной эволюции. Этот общий принцип отражен на представленном графике (рис. 40). Хорошо видно, что экологические последствия воздействия оказывают непосредственное влияние не только на геологический компонент природной среды, но и на подсистему источников воздействия, коренным образом изменяющим состояние остальных подсистемных элементов.



Метод функционального анализа эколого-геологических систем должен использоваться на всех этапах эколого-геологических исследований. На первых из них он позволяет определить необходимый объем данных для построения информационной модели эколого-геологической обстановки-системы, осуществить "каз" на получение специальной информации частными методами геологических наук, специальными методами экологической геологии, а также методами биологических, медицинских и других наук. Полученная информация требует специализированного классифици-

рования, свертывания, интерпретации, в результате которых могут быть поставлены новые конкретные задачи исследования, а при необходимости — и оперативного применения корректирующих действий системами управления.

На последующих этапах эколого-геологических исследований применение функционального анализа эколого-геологической обстановки обусловлено тем, что одноразовые окончательные решения при решении экологических задач, как правило, невозможны. Необходим постоянный, периодический анализ пути развития эколого-геологических обстановок-систем, вновь проявляющихся и техногенных воздействий, новых формирующихся причинно-следственных связей между подсистемными компонентами, анализ их влияния на биоту.

При выполнении функционального анализа Г.А.Голодковская и М.Б.Куринов (1996) предложили обособлять три уровня эколого-геологических систем. Первый — элементарный уровень базируется на конкретном виде воздействия и формирующемся одномерном пространстве причинно-следственных связей. Например, в результате дорожного строительства происходит перехват поверхностного и подземного стока, подъем уровня грунтовых вод, заболачивание и подтопление территории, имеющие негативные экологические последствия — угнетение растительности, изменение биоценозов.

Второй уровень системы выделяется при формировании двух-трехмерного пространства причинно-следственных связей и характеризуется более сложной структурной организацией. В этом случае экологические последствия могут играть роль самостоятельного, наведенного источника воздействия на литосферу. Например, в случае подземного захоронения промышленных стоков в сейсмоактивных районах возможно возникновение наведенных землетрясений, которые могут вызвать разрушение инженерных сооружений с последующими экологическими последствиями. В этом случае фиксируемые цепочки причинно-следствен-

ных связей имеют более сложную структуру и могут иметь несколько уровней, взаимодействующих друг с другом.

Третий уровень - системы формируются на базе мощного, разнопланового источника воздействия и образуют сложноорганизованное пространство причинно-следственных связей. К таким системам, по М.Б.Куринову, относятся в первую очередь, крупные урбанизированные центры типа Москвы, районы действия горно-добывающих центров, промышленные центры металлургической, нефтеперерабатывающей, химической промышленности и т.п. Исследование подобных систем базируется на принципе декомпозиции, т.е. выделении в рамках системы более просто построенных относительно независимых подсистем, и применении системного анализа при характеристике взаимодействия отдельных подсистем между собой и эколого-геологической системы в целом.

В ходе функционального анализа эколого-геологической обстановки необходимо оценить роль значимости экологических функций литосферы для социальных и биологических объектов. Ресурсная ее функция обуславливает наличие и состояние ресурсной базы, которая определяет жизненный уровень таких объектов. В устойчивых эколого-геологических системах эволюция направлена в сторону специализации, наиболее эффективного использования ресурсов. Сокращение, преждевременное истощение ресурсной основы может приводить к деградации социально-экономических и биологических объектов, что и нередко наблюдалось в прошлом. Оценка ресурсной функции невозможна без учета эволюции состояния природных объектов по мере использования ресурсов. Объективные экономические критерии, применяемые для оценки ресурсов, необходимо коррелировать с точки зрения придания особого статуса ресурсам, являющимся жизненно важными для экологических систем, развитых на той или иной территории.

При функциональном анализе огромное внимание должно уделяться рассмотрению геодинамической функции литосферы, в частности ее изменению при техногенном воздействии. Именно им обусловлены наиболее быстро протекающие, так называемые антропогенные геологические процессы, многие из которых являются крайне опасными для биоты.

В качестве основного критерия, который можно использовать в ходе анализа для оценки значимости геодинамической экологической функции следует, по нашему мнению, принять наличие, характер проявления экзогенных и эндогенных процессов, их влияние на устойчивость литосферы, а как следствие - на устойчивость биоты.

В ходе проведения функционального анализа необходимо все время помнить, что одна из его задач - рассмотрение влияния условий жизни на физическое здоровье, психическое равновесие, возможность передачи этих качеств потомству и безопасность социальных и биологических объектов. Наличие таких условий контролируется как собственно геологическими факторами (природные аномалии геофизических и геохимических полей, геологические процессы и т.п.), так и техногенными факторами (химическое, радионуклидное, электромагнитное загрязнение и т.п.). Особую роль в последнее время приобрели техногенные факторы.

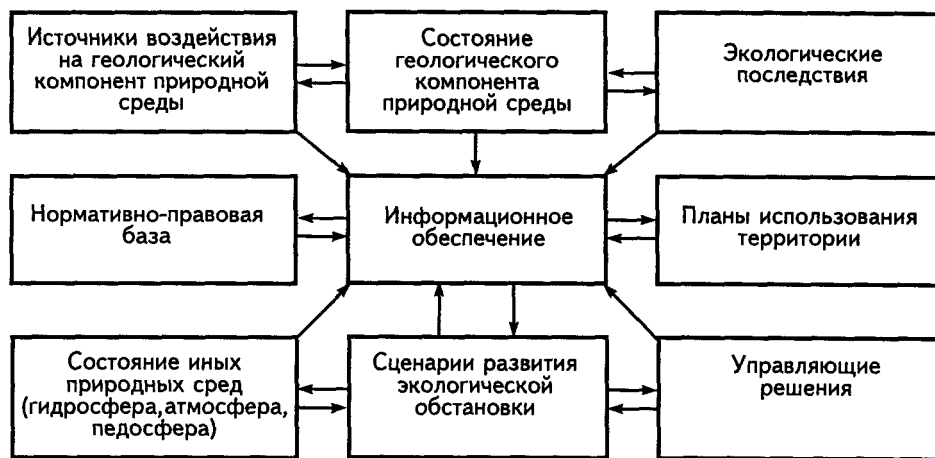


Рис. 41. Информационное обеспечение функционального анализа эколого-геологической системы

Оценка этой функции литосферы лежит в сфере соблюдения действующими и проектируемыми предприятиями принятых на уровне государства норм ПДК, ПДН или фоновых значений. В то же время следует подчеркнуть, что принятые нормы ПДК, ПДН ориентированы в общем случае преимущественно на человека и не учитывают интересы биологических объектов в целом. Все это требует уточнения существующих норм и их ориентирование на интересы биологических объектов.

Г.А.Голодковская и М.Б.Куринов (1999) в общую структуру информационного обеспечения функционального анализа эколого-геологической системы (рис. 41) включают данные о планах использования территории, принимаемых управляющих решениях, возможных сценариях развития экологической обстановки. Предложенная ими информационная система должна, по замыслу авторов, работать в интерактивном режиме. Выдавая готовую продукцию непосредственному пользователю, она позволяет вводить новые программы в дальнейшие исследования. В таком качестве функциональный анализ выступает как ключевой метод не только познания эколого-геологической системы, но и инструментом обоснования управления ее состоянием.

Эколого-геологическое моделирование. *Содержание этого метода заключается в создании моделей состояния эколого-геологической системы той или иной территории и прогноза трансформации ее при реальных или возможных изменениях геологического компонента в процессе его взаимодействия с источниками воздействия как природными, так и техногенными.* Конечная цель моделирования - прогнозная оценка последствий этих воздействий на литосферу и через нее - на биоту.

Моделирование является методом исследования практически любого научного направления. Требования к созданию при его реализации корректных моделей

являются, по существу, общими. В то же время использование моделей в экологической геологии, учитывающих особенности проявления и изменения экологических функций литосферы, позволяет рассматривать моделирование в качестве специального метода этой науки.

В процессе эколого-геологического моделирования последовательно решаются, по М.Б.Куринову (1997), следующие группы задач:

создание моделей состояния эколого-геологической ситуации (системы) той или иной территории;

построение моделей прогноза изменения эколого-геологических условий при планируемых воздействиях;

разработка и выбор модели оптимальной, устойчиво развивающейся эколого-геологической системы территории;

корректировка постоянно действующей модели (ПДМ) устойчиво развивающейся эколого-геологической системы.

Метод эколого-геологического моделирования в равной мере может быть использован при изучении эколого-геологической системы разных типов: природных и природно-технических, реальных и идеальных. Он охватывает все многообразие эколого-геологических условий, обеспечивая создание моделей состояния (реальных) и прогноза (идеальных), и может характеризоваться как универсальный метод познания эколого-геологических систем. Характерной чертой метода является его био- и антропоцентрическая направленность - оценка воздействия "неживого" на "живое". Полученный в ходе его реализации результат требует своей экологической и социально-экономической оценки. Другими словами, метод моделирования позволяет оценить или предсказать эколого-геологическую ситуацию изучаемой территории или литосферного блока, но не дает оценки прямой экологической оптимальности этой ситуации.

Метод эколого-геологического моделирования является важным звеном эколого-геологического мониторинга и корректировки ПДМ. Эколого-геологическая модель действует в системе мониторинга постоянно, а не связана с решением разовой целевой задачи. Кроме того, следует учитывать, что ПДМ практически единственный и наиболее часто реализуемый способ совершенствования системы управления рационального природопользования.

В практике эколого-геологического моделирования применяются различные типы моделей: вербальные, знаковые (картографические), физические (аналоговые) и математические, т.е. комплекс традиционных методов моделирования. Выбор конкретного метода обуславливается спецификой информационной базы, задачами исследования, а также возможностями их финансирования.

В последние годы в связи с расширением возможностей вычислительной техники все большее распространение получает детерминированное и вероятностное моделирование с помощью ЭВМ. Детерминированные модели основаны на установленных функциональных связях между зависимыми переменными (функциями) и аргументами. В рамках детерминированного моделирования применяются методы конечных элементов, конечных разностей и др.

При моделировании многофакторных процессов в верхних горизонтах литосферы в связи с отсутствием строгих математических описаний этих процессов используется математический аппарат теории вероятностей и математической статистики. Статистические модели основаны на эмпирических данных и содержат, кроме переменных величин и констант, одну или несколько случайных величин различной природы, которые отражают случайные характеристики свойств объектов литосферы. В принципе любая детерминированная модель, используемая при эколого-геологическом мониторинге, становится вероятностной, если в нее вводится какая-либо случайная компонента, обусловленная не предсказуемой точно функцией многих переменных.

Особым, специальным видом моделирования в экологической геологии является создание моделей устойчиво развивающихся эколого-геологических систем территории. Такие модели относятся к классу ПДМ, параметры которых постоянно уточняются в ходе эколого-геологических исследований, как уточняются и эколого-геологические прогнозы.

Постоянно действующая эколого-геологическая модель - это система упорядоченно-взаимосвязанных, постоянно уточняющихся во времени и пространстве данных о состоянии эколого-геологических условий, трансформированная в логическое, картографическое или математическое изображение для прогнозирования и управления. Основным назначением ПДМ является перманентное решение эколого-геологических задач, связанных с оценкой изменения (как природно, так и техногенно обусловленного) литосферы и ее компонентов, а также эколого-геологическим прогнозом ее развития. Применение ПДМ обеспечивает упорядочение технологии сбора и обработки поступающей эколого-геологической информации на основе компьютерной техники. В связи с этим создание и использование ПДМ - пока единственный и наиболее эффективный способ совершенствования системы управления в области рационального использования и охраны верхних горизонтов литосферы, решения всевозможных эколого-геологических проблем.

Г.А.Голодковская и М.Б.Куринов (1994) к базовым принципам разработки модели устойчиво развивающейся эколого-геологической системы отнесли следующие позиции:

принцип целевого использования - природная среда должна использоваться на основе максимального раскрытия заложенных в ней полезных качеств. Выполнение этого принципа должно базироваться на предварительной оценке естественных ресурсов, включая экологические функции литосферы и их влияние на объекты социо- и техносферы;

принцип приоритетов при выработке эколого-экономической концепции развития региона - использование того или иного компонента среды не должно приводить к угнетению, деградации, уничтожению природных объектов, имеющих более высокий ранг качества. К сожалению, при любой антропогенной деятельности существующие экологические системы испытывают потери; задача заключается в том, чтобы приобретения компенсировали утраты;

принципы безопасности - техногенная, антропогенная деятельность при использовании геологического компонента природной среды не должна создавать экологически вредную, опасную для существования биocenозов и человека среду обитания или иметь долгосрочные экологические последствия. (Идеалистично требование сохранения всех естественных биocenозов на осваиваемых территориях, но определение допустимого уровня изменений геологического компонента природной среды при условии минимального экологического ущерба - задача весьма актуальная);

принцип сохранения уровня комфортности - техногенная, антропогенная деятельность при формировании новой или трансформации старой эколого-геологической системы не должна снижать уровень комфортности среды обитания человека;

принцип разумного компромисса - необходим поиск тонкой грани между техническими возможностями производства, антропогенным воздействием на биocenозы. Эта задача весьма деликатная и непростая, так как "качество жизни" населения - это социальная задача, которую решают не только специалисты в области геологии и экологии, но и политики, отстаивающие нередко свои конъюнктурные интересы.

Процесс создания модели оптимальной устойчиво развивающейся эколого-геологической системы является в принципе непрерывным. Г.А.Голодковская и М.Б.Куринов (1997) в нем условно выделяют три этапа. На первом из них определяются экологическая политика развития региона, режим использования конкретной территории. Решение этих вопросов лежит в области государственного администрирования. Подготовка же материалов для подобных решений должна включать рассмотрение и экологических проблем, связанных с возможными изменениями геологического компонента окружающей среды под воздействием природных причин и техногенеза.

Второй этап построения такой модели включает в себя описание, выработку словесного портрета модели, выявление основных параметров среды с точки зрения экономики, здоровья и комфорта населения, состояния биocenозов, с учетом демографических, энергетических аспектов, стандартов состояния окружающей среды, перспектив развития региона и интересов проживающих в нем граждан.

Третий этап - это этап объединения результатов исследования природной среды, техносферы, социосферы, биосферы, прогнозов изменения эколого-геологической ситуации, т.е. построение самой адаптивной модели оптимальной устойчиво развивающейся эколого-геологической системы. На начальном этапе схематизации информации она будет иметь основные черты, присущие структурным моделям, а на выходе должна, если это окажется возможным, трансформироваться в физическую, математическую модели. Построенная таким образом модель подлежит непрерывной корректировке, сопоставлению с развитием ситуационных отношений на моделируемой территории.

Проблема корректировки прогностической модели оптимальной устойчиво развивающейся системы может быть решена при условии непрерывного поступления информации о состоянии объектов литосферы, техносферы, био- и социо-

сферы; постоянного уточнения частных прогностических решений. Это движение информации, с позиций моделирования, представляет взаимозависимый процесс, при котором общее моделирование эколого-геологической системы и частное, касающееся отдельных элементов ее, должны двигаться навстречу друг другу, с одной стороны корректируя частные модели в их связи с общей экологической обстановкой, а с другой - конкретизируя общие модели, как правило, страдающие излишней абстрагированностью от многих немаловажных факторов реальной эволюции среды. Решение подобных проблем выполняется в процессе эколого-геологического мониторинга.

Эколого-геологический мониторинг . Мониторинг как система долгосрочных режимных наблюдений, оценки, контроля состояния и прогноза изменения объекта является общенаучным методом исследования. Используется он и при эколого-геологических исследованиях в качестве метода специального.

Специфика эколого-геологического мониторинга заключается не только в системе познания объекта, но и в самом объекте исследования - эколого-геологической обстановке, которая обуславливает "геологическое" жизнеобеспечение и человека, и биоты в целом через ресурсную, геодинамическую, геохимическую и геофизическую экологические функции литосферы. Объект исследования включает в себя систему "литосфера - биота". Исходя из этого, эколого-геологический мониторинг может быть как фоновым и изучать только природную эколого-геологическую систему, так и природно-техническим, в ходе выполнения которого исследуются последствия функционирования литотехнических систем.

Специфика эколого-геологического мониторинга заключается и в его конечной цели. Последнюю можно сформулировать так: оптимизация функционирования эколого-геологической обстановки-системы.

Исходя из этих двух специфических особенностей, *эколого-геологический мониторинг - это система постоянных наблюдений, оценки, прогноза состояния и изменения эколого-геологической обстановки-системы, проводимая по заранее намеченной программе с целью разработки рекомендаций и управляющих решений, направленных на обеспечение ее оптимального экологического функционирования и устойчивого развития*. Исходя из этого, подчеркнем, что независимо от вида эколого-геологического мониторинга (комплексный - частный (поэлементный), государственный - отраслевой, региональный - локальный и др.), характера инженерно-хозяйственного освоения территории, организующих его служб, масштаба исследований главным является установление тенденций развития, трансформации литосферы и ее компонентов, их экологических последствий для человека и биоты в целом и на этой основе принятия управляющих решений.

Чрезвычайно важным аспектом в понимании сущности рассматриваемого метода является индивидуальность содержания эколого-геологического мониторинга, которая подлежит персональной разработке в каждом конкретном случае. Это

* Раздел написан при участии В.А.Королева.

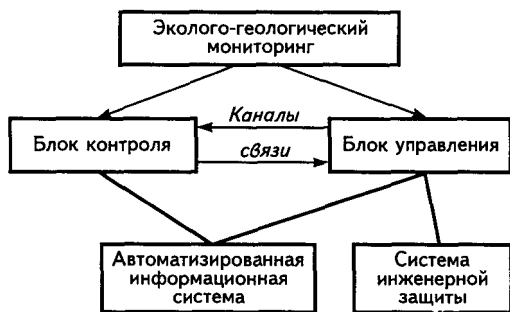


Рис. 42. Структурная схема мониторинга
(по В.К.Епишину и В.Т.Трофимову, 1985)

Суть и содержание эколого-геологического мониторинга составляет система целенаправленной деятельности, состоящей из упорядоченного набора процедур, организованного в циклы: эколого-геологических наблюдений (H_1) оценки состояния системы по результатам наблюдений (O_1), эколого-геологического прогноза развития системы (P_1) и управления (Y_1). Затем эколого-геологические наблюдения дополняются новыми данными, на новом цикле, и далее циклы повторяются на новом временном отрезке H_2, O_2, P_2, Y_2 и т.д.

Эколого-геологический мониторинг представляет собой сложно построенную, циклически функционирующую и развивающуюся во времени по спирали постоянно действующую систему (рис. 43).

Основу организационной структуры эколого-геологического мониторинга (см. рис. 42) составляет так называемая автоматизированная информационная система (АИС), которая создается на базе ЭВМ. В этой связи эколого-геологиче-

творческий процесс, опирающийся на весь спектр методических разработок по данному вопросу и общую структурную схему практически любого мониторинга, содержащую блоки контроля и управления, связанные между собой каналами связи, а также блоки автоматизированной информационной системы и инженерной защиты (рис. 42); последний включает производство очищения компонентов литосферы от загрязнения.

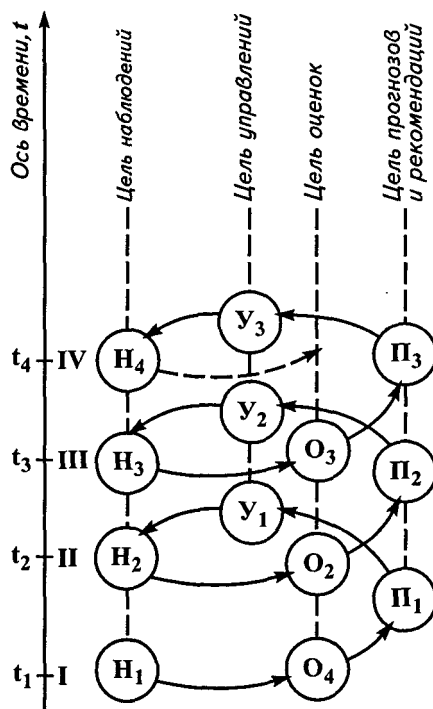


Рис. 43. Схема функционирования
эколого-геологического мониторинга
во времени

H_i – наблюдения; O_i – оценка наблюдений; P_i – прогноз и рекомендации; Y_i – управляющие решения; римские цифры – номера циклов



В структуре АИС выделяются четыре основных взаимосвязанных блока (рис. 44), каждый из которых направлен на решение одной из перечисленных выше задач. Первый из них составляет автоматизированная информационно-поисковая система (АИПС), которая направлена на решение первой задачи и представляет собой базу данных, реализованную с помощью ЭВМ. В систему АИПС из наблюдательной сети поступают все первичные данные о состоянии верхних горизонтов литосферы территории или объекта мониторинга (в том числе и данные режимных наблюдений). Здесь они накапливаются в банке данных, предварительно обрабатываются, сортируются и используются затем во всех последующих операциях по эколого-геологической оценке и прогнозу состояния системы.

Второй блок АИС - автоматизированная система обработки данных (АСОД), направленная на целенаправленную обработку и оценку поступающей информации. Этот блок реализует функцию количественной и качественной обработки всей информации по эколого-геологическому мониторингу и тоже осуществляется с помощью ЭВМ.

Третий блок АИС представляет собой автоматизированную прогнозно-диагностическую систему (АПДС). С помощью этого блока решаются все вопросы по составлению перманентных (т.е. непрерывно продолжающихся, повторяющихся) прогнозов в соответствии с функциональной схемой эколого-геологического мониторинга. Этот блок также реализуется с помощью ЭВМ. Важным его компонентом является постоянно действующая модель.

Четвертый блок АИС составляет автоматизированная система управления (АСУ), направленная на решение задач по управлению эколого-геологической си-

ский мониторинг (как и другие его виды) является особой геоинформационной системой (ГИС).

Задачами АИС эколого-геологического мониторинга являются:

- хранение и поиск режимной эколого-геологической информации о состоянии верхних горизонтов литосферы и ЛТС в пределах изучаемой эколого-геологической системы;

- целенаправленная постоянная обработка и оценка информации;

- выполнение перманентных прогнозов развития и состояния эколого-геологической обстановки;

- решение оптимизационных эколого-геологических задач по созданию системы управления ситуацией, экологически ухудшающейся по геологическим причинам.

стемой и разработку рекомендаций. Этот блок осуществляет как бы конечную цель и функцию эколого-геологического мониторинга и чрезвычайно важен. Он также практически реализуется с помощью ЭВМ.

Все четыре блока АИС связаны друг с другом и образуют единую функционирующую геоинформационную систему. Основным вопросом при организации АИС является ее информационное, техническое и математическое обеспечение, рассмотренное в работах В.К.Епишина, В.Т.Трофимова (1985), В.А.Королёва (1995), М.А.Шубина (1985), в монографии "Теория и методология экологической геологии" (1997) и др.

Уровни организации эколого-геологического мониторинга могут быть различными (рис. 45).

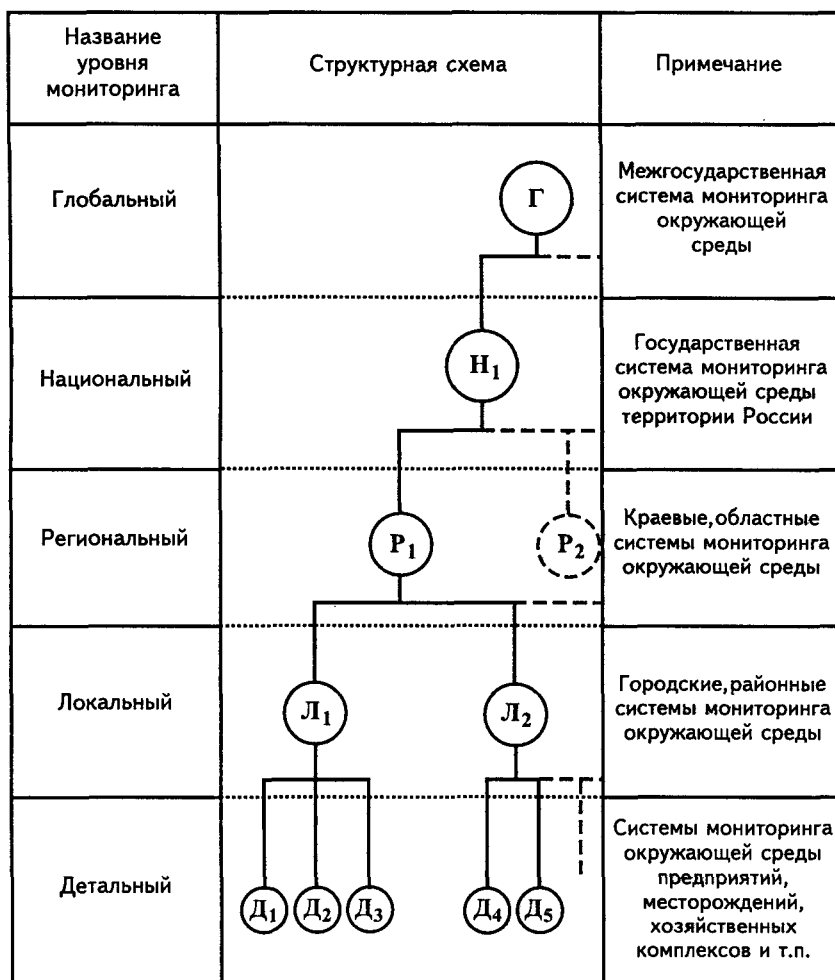


Рис. 45. Структурная схема и соотношение схем мониторинга окружающей среды разных уровней

Подсистемы детального эколого-геологического мониторинга являются важнейшим звеном в системах более высокого ранга. Их объединение в более крупную сеть (например, в пределах города, района) образует систему мониторинга локального уровня. Детальный и локальный эколого-геологический мониторинг предназначены обеспечить экологическую оценку последствий изменений литосферы под влиянием действующего или проектируемого объекта (или комплекса объектов) соответственно на территории города, района или участка в зоне его ожидаемого воздействия. Он реализуется на стадии проекта, а для действующих объектов, не имеющих должной сети режимных наблюдений, независимо от стадии, по решению соответствующих компетентных органов.

Локальные системы, в свою очередь, объединяются в еще более крупные - системы регионального эколого-геологического мониторинга, охватывающие территории в пределах края или области, или в пределах нескольких краев и областей. Региональный эколого-геологический мониторинг предназначен обеспечить экологическую оценку изменений верхних горизонтов литосферы крупных территорий комплексного антропогенного освоения (республиканских, краевых и областных административных территориальных единиц, крупнейших территориально-производственных комплексов). Он базируется на государственных источниках информации, как правило, не дающих ответа на весь комплекс природоохранных вопросов. Такой мониторинг в общих чертах соответствует задачам оценки воздействия на геологическую среду (ОВГС) на предпроектной стадии, которая не предусматривает создание специальной региональной сети режимных наблюдений. Основная задача ОВГС на этой стадии - разработка программы совершенствования или создания новой сети режимных эколого-геологических наблюдений с учетом ожидаемого воздействия существующих или проектируемых предприятий на различные компоненты эколого-геологической системы. Строго говоря, создание и обеспечение функционирования регионального эколого-геологического мониторинга - дело соответствующих территориальных органов государственного или ведомственного подчинения.

Системы регионального эколого-геологического мониторинга должны объединяться в пределах одного государства в единую национальную (государственную, федеральную) сеть мониторинга и образовывать, таким образом, национальный уровень ("мегарегиональный", по М.А.Шубину) системы мониторинга (см. рис. 45).

Системы национального (государственного) уровня эколого-геологического мониторинга являются необходимой предпосылкой для соблюдения законодательства в области охраны недр и экологии, систематического контроля за состоянием всех компонентов эколого-геологической системы, обеспечения эффективной и экологически безопасной инженерно-хозяйственной деятельности.

Подчеркнем, что система эколого-геологического мониторинга национально-го уровня должна входить составной частью в систему мониторинга окружающей среды России, создаваемую соответствующей Федеральной службой России. Формирование в ее рамках единой национальной сети эколого-геологического мониторинга - одна из задач ближайшей перспективы развития мониторинга в России.

В рамках экологической программы ООН поставлена задача объединения национальных систем мониторинга окружающей среды в единую глобальную межгосударственную сеть - "Глобальную систему мониторинга окружающей среды" (ГСМОС или GSEM). Это высший глобальный уровень организации системы мониторинга. Её назначение - осуществление мониторинга за изменениями в окружающей среде на Земле в целом, в глобальном масштабе.

Глобальный мониторинг - это система слежения за состоянием и прогнозирование возможных изменений общемировых процессов и явлений, включая антропогенные воздействия на биосферу Земли в целом. Пока создание такой системы в полном объеме - задача будущего.

Вопросы методики эколого-геологического мониторинга здесь сознательно не рассматриваются. Это отдельная, большая и специфическая задача. Ее содержательное краткое описание можно найти в ряде работ, в частности в монографии "Теория и методология экологической геологии", 1997.

Завершая краткое рассмотрение эколого-геологического мониторинга, следует отметить, что его система синтезирует в себе множество частных методов получения соответствующей информации. Но доминирующую роль, особенно в части прогнозирования, приходится на долю ПДМ и ретроспективного анализа.

Литература

Голодковская Г.А., Елисеев Ю.Б. Геологическая среда промышленных регионов. — М.: Недра, 1989. — 220с.

Голодковская Г.А., Куриное М.Б. Эколого-геологические исследования: концепция и методология // Труды междунар. научн. конф. 5-7 февраля 1996 г. - М.: МГУ, 1996. - С. 21-128.

Королев В.А. Мониторинг геологической среды. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. — 272 с.

Кофф ГЛ., Чеснокова И.В. Информационное обеспечение страхования от опасных природных процессов (на примере землетрясений). - М.: ПОЛИТЕКС, 1998. - 168 с.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

ГЛАВА 11

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

11.1. Система инженерных изысканий для строительства

Информацию об объекте изучения для строительства получают или в ходе научных исследований, которые по своему содержанию могут быть фундаментальными, поисковыми, тематическими и прикладными, или в ходе инженерных изысканий (рис. 46). Последние в Строительных нормах и правилах (СНиП 11-02-96) рассматриваются как вид строительной деятельности, обеспечивающий "комплексное изучение природных и техногенных условий территории (региона, района, площадки, участка, трассы) объектов строительства, составление прогнозов взаимодействия этих объектов с окружающей средой, обоснование их инженерной защиты и безопасных условий жизни населения.

На основе материалов инженерных изысканий для строительства осуществляется разработка предпроектной документации, в том числе градостроительной документации и обоснований инвестиций в строительство, проектов и рабочей документации строительства предприятий, зданий и сооружений, включая расшире-

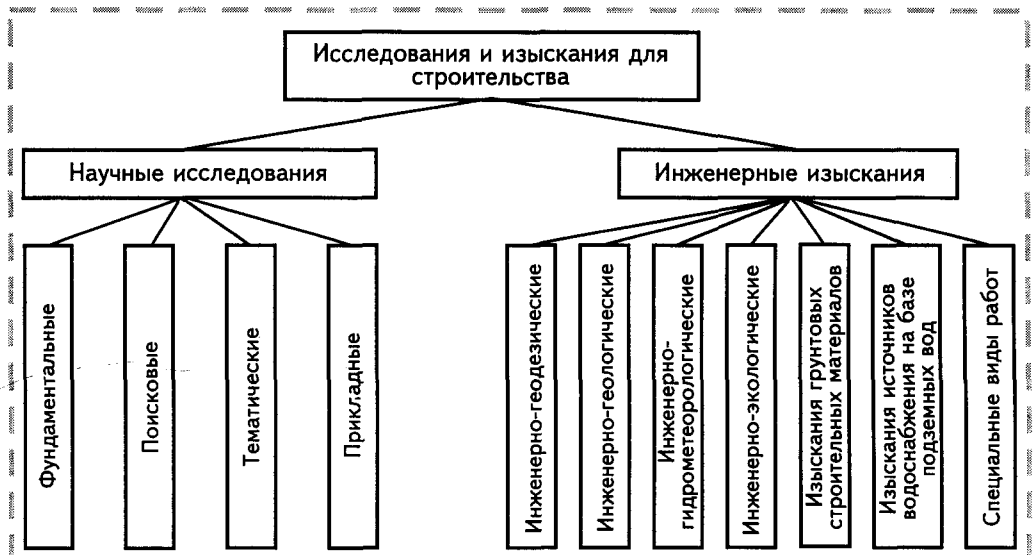


Рис. 46. Виды научных исследований и инженерных изысканий для строительства

ние, реконструкцию, техническое перевооружение, эксплуатацию и ликвидацию объектов, ведение государственных кадастров и информационных систем поселений, а также рекомендаций для принятия экономически, технически, социально и экологически обоснованных проектных решений" (с.2).

В составе инженерных изысканий для строительства входят, в соответствии со СНиП 11-02-96, "следующие основные их виды: *инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-экологические изыскания, изыскания грунтовых строительных материалов и источников водоснабжения на базе подземных вод.*

К инженерным изысканиям для строительства также относятся:

геотехнический контроль;

обследование грунтов оснований фундаментов зданий и сооружений;

оценка опасности и риска от природных и техноприродных процессов;

обоснование мероприятий по инженерной защите территорий;

локальный мониторинг компонентов окружающей среды;

геодезические, геологические, гидрогеологические, гидрологические, кадастровые и другие сопутствующие работы и исследования (наблюдения) в процессе строительства, эксплуатации и ликвидации объектов;

научные исследования в процессе инженерных изысканий для строительства предприятий, зданий и сооружений;

авторский надзор за использованием изыскательской продукции в процессе строительства в составе комиссии (рабочей группы);

инжиниринговые услуги по организации и проведению инженерных изысканий".

Общие положения и требования к организации и порядку проведения инженерных изысканий, выполняемых при хозяйственном освоении и использовании территорий, для проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации предприятий, зданий и сооружений изложены в СНиП 11-02-96 "Инженерные изыскания для строительства. Основные положения". В этом документе регламентировано содержание договора, технического задания, программы инженерных изысканий, их стадийность, цели и виды, состав технического отчета по результатам инженерно-геодезических, инженерно-геологических, инженерно-гидрометеорологических, инженерно-экологических изысканий, изысканий грунтовых строительных материалов и источников водоснабжения на базе подземных вод.

Этот документ детализируется сводами правил, из которых наиболее важными являются:

СП 11-103-97 "Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства", в котором регламентированы состав изысканий на разных стадиях проектирования и общие технические требования к ним, а также к составу изыскательских работ и определяемым гидрометеорологическим характеристикам в зависимости от вида и назначения сооружения;

СП 11-105-97 "Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ", рассматривающий состав инженерно-геологических изысканий и общие технические требования к ним, виды и методы специализированных горно-проходческих работ, геофизических исследований, полевых и лабораторных исследований грунтов, гидрогеологических исследований, стационарных наблюдений, состав и цели инженерно-геологических изысканий на разных стадиях проектирования, а также во время эксплуатации, реконструкции и ликвидации сооружения;

СП 11-105-97 "Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть III. Дополнительные правила производства работ в районах распространения специфических грунтов", регламентирующий инженерно-геологические изыскания в районах распространения просадочных, набухающих, органоминеральных и органических, засоленных, элювиальных и техногенных грунтов;

СП 11-105-97 "Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть IV. Правила производства работ при проведении инженерно-геологических изысканий в районах распространения многолетнемерзлых грунтов", в котором определены основные цели и задачи, методы и состав работ;

СП 11-102-97 "Инженерно-экологические изыскания для строительства", регламентирующий основные понятия и определения, цели, задачи и программу инженерно-экологических изысканий, основные методы и состав работ;

СНиП 2.01.15-90 "Инженерная защита территорий зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования", в которых описаны основные понятия, виды сооружений и мероприятий для предотвращения опасных геологических и инженерно-геологических процессов;

СНиП 2.06.15-85 "Инженерная защита территорий от затопления и подтопления", в которых определены классы сооружений инженерной защиты и требования к их проектированию, дополнительные требования к материалам инженерных изысканий, к проекту установки контрольно-измерительной аппаратуры в сооружениях инженерной защиты.

В СНиП 11-02-96 (п.45) определено, что и инженерные изыскания для строительства должны выполняться при наличии решения соответствующих органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации или органов местного самоуправления о предварительном согласовании места размещения объекта или предоставлении земельного участка, договора об использовании земельного участка для изыскательских работ, заключенного с собственником земли, землевладельцем, землепользователем или арендатором и регистрации (разрешения) производства инженерных изысканий.

Инженерно-геодезические изыскания для строительства "должны обеспечивать получение топографо-геодезических материалов и данных о ситуации и рельефе местности (в том числе дна водотоков, водоемов и акваторий), существующих зданиях и сооружениях (наземных, подземных и надземных), элементах планировки (в цифровой, графической, фотографической и иных формах), необходимых для комплексной оценки природных и техногенных условий территории строи-

тельства и обоснования проектирования, строительства и эксплуатации объектов" (СНиП 11-02-96, п.52).

Пунктом 6.1 того же выпуска СНиП регламентировано, что *инженерно-геологические изыскания* "должны обеспечивать комплексное изучение инженерно-геологических условий района (площадки, участка, трассы) проектируемого строительства, включая рельеф, геологическое строение, геоморфологические и гидрогеологические условия, состав, состояние и свойства грунтов, геологические и инженерно-геологические процессы, изменение условий освоенных (застроенных) территорий, составление прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий в сфере взаимодействия проектируемых объектов с геологической средой с целью получения необходимых и достаточных материалов для проектирования строительства и эксплуатации объектов".

Инженерно-гидрометеорологические изыскания "должны обеспечивать комплексное изучение гидрометеорологических условий территории (района, площадки, участка, трассы) строительства и прогноз возможных изменений этих условий в результате взаимодействия с проектируемым объектом с целью получения необходимых и достаточных материалов и данных для принятия обоснованных проектных решений" (там же, п.7.1).

Инженерно-экологические изыскания выполняются "для экологического обоснования строительства и иной хозяйственной деятельности с целью предотвращения, снижения или ликвидации неблагоприятных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий и сохранения оптимальных условий жизни населения" (там же, п.8.1).

Изыскания грунтовых строительных материалов "должны обеспечивать получение необходимых и достаточных данных об их источниках, количестве, качестве и горно-геологических условиях для проектирования и организации временных карьеров по добыче грунтовых материалов, не являющихся местными строительными материалами и предназначенных для возведения земляных сооружений (насыпных, намывных плотин, дамб, дорог и т.п.) и других проектируемых объектов строительства" (там же, п.9.1).

Изыскания источников водоснабжения на базе подземных вод "должны выполняться в составе инженерных изысканий для строительства с целью получения необходимых и достаточных данных для проектирования и строительства водозаборов подземных вод с незначительной (до 1000 м³/сут) потребностью в хозяйственно-питьевой воде (животноводческие фермы, садоводческие товарищества, хлебопекарни и т.д.), если существующее централизованное водоснабжение не может обеспечить требуемой потребности в воде или его использование нецелесообразно согласно технико-экономическим обоснованиям" (там же, п. 10.1).

Инженерные изыскания выполняются в соответствии с установленным порядком проведения проектно-изыскательских работ для *поэтапного обоснования намечаемой хозяйственной деятельности* при разработке следующих видов документации:

прединвестиционной - концепций, программ, схем отраслевого и территориального развития, комплексного использования и охраны природных ресурсов, схем инженерной защиты, районных планировок и т.п.;

градостроительной - генпланов городов (поселений), проектов детальной планировки, проектов застройки функциональных зон, кварталов и участков города;

предпроектной - обоснований инвестиций в строительство объектов, промышленных предприятий и комплексов;

проектной - проектов и рабочей документации для строительства предприятий, зданий и сооружений.

В период строительства, эксплуатации и ликвидации строительных объектов инженерные изыскания должны быть при необходимости продолжены посредством организации мониторинга за состоянием природно-технических систем, эффективностью защитных и природоохранных мероприятий и динамикой экологической ситуации.

В СНиП 11-02-96 в пунктах 4.17-4.21 четко определены цели инженерных изысканий на каждом из этих этапов. Так, инженерные изыскания с целью обоснования *прединвестиционной* (предпроектной) *документации* должны обеспечивать комплексные изучения природных и техногенных условий региона (района, площадки, трассы), составление прогноза возможного изменения этих условий при взаимодействии с планируемыми объектами строительства.

Инженерные изыскания для разработки *градостроительной документации* должны обеспечить анализ и оценку природных условий территории, ее историко-культурного наследия, возможность водообеспечения, составление прогноза изменений этих условий при реализации намечаемых решений по ее структурной (функциональной) организации.

Инженерные изыскания для подготовки обоснований *инвестиций в строительство* зданий и сооружений должны обеспечить возможность оптимального выбора места **размещения** объекта, определения базовой стоимости строительства, принятия принципиальных объемно-планировочных и конструктивных решений, составления ситуационных и генеральных планов.

Чрезвычайно важно подчеркнуть следующее положение. С этими стадиями разработки документации связан и основной объем инженерных изысканий, которые должны обеспечить не только разработку объемно-планировочных и конструктивных решений, но и составление раздела "Оценка воздействия на окружающую среду" (ОВОС).

Инженерные изыскания с целью разработки *проекта* предприятий, зданий и сооружений должны обеспечить информацию достаточную для разработки проектных решений по выбранной территории, проектирования сооружений инженерной защиты, **разработки** мероприятий по охране природной среды.

Инженерные изыскания для разработки *рабочей документации* на здания и сооружения должны обеспечить возможность расчета оснований, фундаментов и конструкции этих объектов и их инженерной защиты, определения объема зем-

ляных работ, уточнения проектных решений по возникшим вопросам в пределах сферы взаимодействия сооружения с окружающей средой.

Инженерные изыскания *в период строительства, эксплуатации и ликвидации объектов* должны обеспечить надежность их эксплуатации в проектном режиме, оценку качества возводимых сооружений, проверку соответствия их проектным требованиям, эффективность работы систем их инженерной защиты, санацию и рекультивацию территории после ликвидации объектов.

Подчеркнем очень важное положение. Инженерные изыскания для разработки проектной документации должны обеспечить принятие проектных решений по объекту строительства и выбранной территории и являются основой для написания раздела "Охрана окружающей среды" в проекте строительства.

Одним из основополагающих документов, регламентирующим состав и объем инженерных изысканий, является *техническое задание на выполнение инженерных изысканий для строительства*, содержание которого регламентировано СНиП 11-02-96 (п.4.13). Оно составляется, как правило, с участием исполнителя инженерных изысканий. Техническое задание подписывается руководством организации (заказчиком) и заверяется печатью.

Техническое задание на выполнение инженерных изысканий может выдаваться как на весь комплекс инженерных изысканий, так и отдельно по их видам и стадиям проектирования. Если исполнитель инженерных изысканий и заказчик представляют одну проектную (проектно-изыскательскую) организацию, техническое задание подписывает со стороны заказчика главный инженер проекта (ГИП) и утверждает руководитель (заместитель руководителя) организации.

На основе технического задания разрабатывается *программа инженерных изысканий для строительства*. Она в отличие от технического задания является внутренним документом исполнителя инженерных изысканий. В ней должны найти отражение цели и задачи изысканий, обоснование границ изучаемой территории, обоснование **применения** нестандартизированных методов исследования, перечень характеристик и **параметров** изучаемых компонентов природной среды, установление состава, объема, методов, последовательности и время производства отдельных работ, перечень, состав и сроки представления отчетных материалов.

11.2.

Содержание и задачи инженерно-экологических изысканий для строительства

В общем плане они наследуют структуру изысканий, рассмотренную в п. 11.1 и регламентированы двумя нормативными документами: СНиП 11-02-96 (глава 8. Инженерно-экологические изыскания) и СП 11-102-97, полностью посвященному рассматриваемой проблеме. Последний, по сути - первый федеральный нормативный документ, определяющий порядок, последовательность и детальность выпол-

нения инженерно-экологических изысканий. В нем выделяется комплекс экологических задач, решение которых не входит в другие виды инженерных изысканий. Они включают комплексную оценку воздействия сооружения (объекта) на окружающую среду и воздействие техногенно измененной среды (в нашем случае литосферы) на условия проживания главным образом населения и, следовательно, связаны с решением эколого-геологических задач. Понятно, что спектр их достаточно широк и не может быть регламентирован одним нормативным документом. Поэтому существует целый ряд нормативных федеральных и отраслевых документов, преимущественно связанных с загрязнением компонентов литосферы (пород, почв, донных осадков, подземных вод), снегового покрова и приземного слоя атмосферы.

В соответствии с СНиП 11-02-96 и СП 11-102-97, основной задачей инженерно-экологических изысканий для строительства новых предприятий или реконструкции, расширения, технического перевооружения (введения новых технологий) уже существующих предприятий, зданий и сооружений, следует считать оценку современного состояния и прогноз возможных изменений окружающей среды под влиянием техногенной нагрузки с целью предотвращения, минимизации или ликвидации вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий и сохранения оптимальных условий жизни населения. Принципиальным отличием этой задачи от инженерно-геологических задач является *приоритет экологического подхода* (сохранение оптимальных условий жизни населения). Последние оцениваются при решении вопроса о строительстве или реконструкции объекта.

В соответствии с п.8.4 СНиП 11-02-96, инженерно-экологические изыскания должны обеспечивать:

- "комплексное изучение природных и техногенных условий территории, ее хозяйственного использования и социальной сферы;

- оценку современного экологического состояния отдельных компонентов природной среды и экосистем в целом, их устойчивости к техногенным воздействиям и способности к восстановлению;

- разработку прогноза возможных изменений природных (природно-технических) систем при строительстве, эксплуатации и ликвидации объекта;

- оценку экологической опасности и риска;

- разработку рекомендаций по предотвращению вредных и нежелательных экологических последствий инженерно-хозяйственной деятельности и обоснование природоохранных и компенсационных мероприятий по сохранению, восстановлению и оздоровлению экологической обстановки;

- разработку мероприятий по сохранению социально-экономических, исторических, культурных, этнических и других интересов местного населения;

- разработку рекомендаций и (или) программы организации и проведения локального экологического мониторинга, отвечающего этапам (стадиям) предпроектных и проектных работ" (с.28-29).

Как и другие виды инженерных изысканий, инженерно-экологические изыскания проводятся в три этапа:

подготовительный - сбор и анализ фондовых и опубликованных материалов и предполевое дешифрирование;

полевые исследования - маршрутные наблюдения, полевое дешифрирование, проходка горных выработок, опробование, радиометрические, газогеохимические и другие натурные исследования;

камеральная обработка материалов - проведение химико-аналитических и других лабораторных исследований, анализ полученных данных, разработка прогнозов и рекомендаций, составление технического отчета.

Перечень отдельных видов работ, в соответствии с п.8.4 СНиП 11-02-96, включает:

сбор, обработку и анализ опубликованных и фондовых материалов и данных о состоянии природной среды; поиск объектов-аналогов для разработки прогнозов;

экологическое дешифрирование аэрокосмических материалов с использованием различных видов съемок (черно-белой, многозональной, радиолокационной, тепловой и др.);

маршрутные наблюдения с покомпонентным описанием природной среды и ландшафтов в целом, состояния наземных и водных экосистем, источников и визуальных признаков загрязнения;

проходку горных выработок для установления условий распространения загрязнений и геоэкологического опробования;

опробование почв и грунтов, поверхностных и подземных вод и определение в них комплексов загрязнителей;

исследование и оценку радиационной обстановки; газогеохимические исследования;

исследование и оценку физических воздействий;

эколого-гидрогеологические исследования (оценка влияния техногенных факторов на изменение гидрогеологических условий);

почвенные исследования;

изучение растительности и животного мира;

социально-экономические исследования;

санитарно-эпидемиологические и медико-биологические исследования;

стационарные наблюдения (экологический мониторинг);

камеральную обработку материалов;

составление технического отчета.

"Назначение и необходимость отдельных видов работ и исследований, условия их взаимозаменяемости устанавливаются в программе инженерно-экологических изысканий на основе технического задания заказчика в зависимости от вида строительства, характера и уровня ответственности проектируемых зданий и сооружений, особенностей природно-техногенной обстановки, степени экологической изученности территории и стадии проектных работ".

Как уже отмечалось, структура инженерно-экологических изысканий не отличается от структуры инженерных изысканий и включает в себя те же стадии изучения и обоснования проектной документации, а также отчетные материалы. Все различия между этими видами изысканий в решаемых задачах и содержании получаемой информации.

Так, задачами инженерно-экологических изысканий для разработки *прединвестиционной документации* (СНиП 11-02-96) являются:

"оценка экологического состояния территории с позиций возможности размещения новых производств, организации производительных сил, схем расселения, отраслевых схем и программ развития;

предварительный прогноз возможных изменений окружающей среды и ее компонентов при реализации намечаемой деятельности, а также ее возможных негативных последствий (экологического риска) с учетом рационального природопользования, охраны природных богатств, сохранения уникальности природных экосистем региона, его демографических особенностей и историко-культурного наследия" (п.8.10, с.30).

Задачи инженерно-экологических изысканий для экологического обоснования *градостроительной документации* регламентированы в виде следующего перечня:

"оценка существующего экологического состояния городской среды (в жилых, промышленных и ландшафтно-рекреационных зонах), включая оценку химического загрязнения атмосферного воздуха, почв, грунтов, подземных и поверхностных вод промышленными объектами, транспортными средствами, бытовыми отходами, наличие особо охраняемых территорий;

оценка физических воздействий (шума, вибрации, электрических и магнитных полей, ионизирующих излучений от природных и техногенных источников);

прогноз возможных изменений функциональной значимости и экологических условий территории при реализации намечаемых решений по ее структурной организации;

предложения и рекомендации по организации природоохранных мероприятий и экологического мониторинга городской среды" (п.8.11).

Все они сводятся к обеспечению экологической безопасности проживания населения и оптимальности градостроительных и иных проектных решений с учетом мероприятий по охране природы и сохранению историко-культурного наследия в районе размещения города (поселения).

В задачу инженерно-экологических изысканий для *обоснований инвестиций* входит, в соответствии с п.8.12 СНиП 11-02-96, изучение природных и техногенных условий всех намечаемых конкурентоспособных вариантов размещения площадок с учетом существующих и проектируемых источников воздействия, состояния экосистем, условий проживания населения и возможных последствий их изменения в процессе строительства и эксплуатации сооружения, а также получение необходимых и достаточных материалов и данных для обоснованного выбора варианта размещения и принятия принципиальных решений, при которых прогнозируемый экологический риск будет минимальным.

Инженерно-экологические изыскания для обоснований инвестиций в строительство должны включать:

"комплексное (ландшафтное) исследование территории с учетом ее функциональной значимости в зоне воздействия;

анализ и оценку экологических условий по вариантам размещения объекта (или на выбранной площадке);

характеристику видов, интенсивности, длительности, периодичности существующих и планируемых техногенных (антропогенных) воздействий, размещение источников воздействия в пространстве с учетом преобладающих направлений перемещения воздушных масс, водных потоков, фильтрации подземных вод;

предварительную оценку и прогноз возможного воздействия объекта на окружающую природную среду (комплексная оценка и покомпонентный анализ), в том числе на особо охраняемые природные объекты и территории;

определение границ зоны воздействия по компонентам окружающей среды для каждой конкурентной площадки;

предварительную оценку экологического риска;

выводы о необходимости природоохранных мероприятий на основе принятых значений предельно допустимых выбросов и сбросов загрязняющих веществ с учетом устойчивости ландшафтов и экосистем, социально-экономических факторов;

предложения и рекомендации по организации локального экологического мониторинга" (с.31).

Задачи инженерно-геологических изысканий для обоснования проектной документации столь же ясно сформулированы в п.8.13 этого документа:

корректировка выводов по оценке воздействия объекта на окружающую среду при его строительстве и эксплуатации, а также при возможных залповых и аварийных выбросах (сбросах) загрязняющих веществ;

получение исходных данных для проектирования, а также дополнительной информации, необходимой для разработки раздела "Охрана окружающей среды" в проектах строительства объектов.

"Инженерно-экологические изыскания для обоснования проектной документации должны включать:

оценку состояния компонентов природной среды до начала строительства объектов;

оценку состояния экосистем, их устойчивости к воздействиям и способности к восстановлению;

уточнение границ зоны воздействия по основным компонентам природных условий, чувствительным к предполагаемым воздействиям;

получение необходимых параметров для прогноза изменения природной среды в зоне влияния сооружения при строительстве и эксплуатации объекта;

рекомендации по организации природоохранных мероприятий, а также мер по восстановлению и оздоровлению природной среды;

предложения к программе локального и специального экологического мониторинга в период строительства, эксплуатации и ликвидации объекта" (с.31).

При реконструкции и расширении предприятий дополнительно следует устанавливать, в соответствии с п.8.14 СНиП 11-02-96, изменения природной среды за период эксплуатации объекта.

При *ликвидации объекта* следует дополнительно устанавливать оценку деградации природной среды в результате его деятельности; оценку последствий ухудшения экологической ситуации и их влияния на здоровье населения; предложения по реабилитации природной среды.

В состав задач инженерно-экологических изысканий входит и изучение различных компонентов среды, в том числе лито- и техносферы, значимых для оценки экологического риска от осуществляемого или проектируемого строительства. В соответствии с этим состав инженерно-экологических исследований значительно шире, чем инженерно-геологических. Первые также включают геоботанические, биологические, гидробиологические, медицинские, зоологические, санитарно-эпидемиологические и другие исследования. Они проводятся либо с привлечением соответствующих специалистов, либо путем сбора необходимой информации.

Важным положением, определяющим содержание инженерно экологических исследований, является соблюдение установленных требований нормативных документов как к перечню, так и к качеству получаемой информации. Она регламентирована по содержанию и детальности проработки того или иного вопроса или показателя. В любом случае инженерно-экологическая информация должна содержать сведения:

- о расположении вариантов объекта или площади изысканий;

- наличии и объемах изъятия природных ресурсов (минеральных, водных, почвенных, лесных), а также площади изъятия земель с оценкой по земельному кадастру;

- существующих и проектируемых источников негативного техногенного воздействия (местоположение, состав, объемы, токсичность и частота выбросов и сбросов);

- технических и технологических решениях и их экологических последствиях;

- экологической изученности района и современной эколого-геологической обстановки;

- природно-технических геохимических и геофизических аномалиях, особенно патогенного характера, и источниках их проявления;

- границах зоны воздействия с учетом экологической опасности объекта.

Детальность проработки отмеченных позиций может изменяться и корректироваться в зависимости от вида объекта и, главным образом, стадии проектно-изыскательских работ. Это касается и выбора критериев оценки и состава комплекса изыскательских работ. В практической деятельности следует использовать нормативные документы, приведенные в СП 11-102-97 и изложенные в них требования.

Общее представление о видах работ, проводимых в процессе инженерно-экологических изысканий, дает табл. 70. В ней приводится оценка значимости этих

**Оценка значимости различных видов работ (исследований) для получения информации
по объектам изучения в процессе инженерно-экологических изысканий**

Вид работ (исследований)	Объект изучения						
	Литосфера и почвы			Гидросфера	Атмосфера и снеговой покров	Биота	Человек
	Природная	Техногенно измененная	Техногенно образованная				
Сбор, обработка и анализ опубликованных и фондовых материалов	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Предполетное дешифрирование аэрокосмоснимков	+	++	++	+	+++	+++	-
Маршрутные наблюдения и полевое дешифрирование	+++	+++	+++	+++	+	+++	+
Проходка горных выработок	+++	+++	+++	+++	+	-	-
Гидродинамические исследования	+	+	+	+++	-	-	-
Оценка загрязнения поверхностных и подземных вод	+	+	+	+++	-	+	+
Экологическое опробование грунтов и грунтовых вод	+++	+++	+++	+++	+++	-	-
Биохимическое опробование	-	-	-	-	-	+++	+++
Определение суммарного показателя загрязнения (Z_c)	+++	+++	+++	-	-	-	-
Определение генотоксичности (роста числа мутаций к фоновым)	-	-	-	-	-	+++	++
Определение числа патогенных микроорганизмов в почвах	+++	+++	-	-	-	-	-
Определение коли-титра	+++	+++	-	+++	-	-	-

Опробование грунтов на содержание легколетучих токсикантов (бензол, толуол и др.)	+++	+++	+++	-	-	-	-
Отбор проб почвенного воздуха	+	++	+++	-	-	-	-
Лабораторные химико-аналитические работы	+++	+++	+++	+++	+++	-	-
Оценка гамма-фона на территории	+++	+++	+++	-	-	-	-
Определение радиационных характеристик источников водоснабжения	-	-	-	+++	-	-	-
Оценка радоноопасности территории	-	-	-	-	+++	-	-
Газогеохимические исследования (оценка биогазообразования)	-	+++	+++	-	-	-	-
Оценка электромагнитного излучения	-	-	-	-	-	-	+++
Оценка шума	-	-	-	-	-	++	+++
Оценка вибрации	-	-	-	-	-	+	+++
Оценка тепловых полей	++	++	-	++	-	-	-
Полевые геоботанические исследования	-	-	-	-	-	+++	-
Оценка численности и других изменений животного мира	-	-	-	-	-	+++	-
Изучение социальной сферы (численность, занятость, динамика населения, демографическая ситуация, уровень жизни)	-	-	-	-	-	-	+++
Медико-биологические и санитарно-эпидемиологические исследования	-	-	-	-	-	++	+++
Обследование и оценка состояния памятников культуры	-	-	-	-	-	-	++
Стационарные экологические наблюдения	+	++	++	+++	+++	+++	+++

Примечание. Объем информации незначительный (+), значительный (++), максимальный – основной (+++).

работ для получения информации по объектам изучения (компонентам окружающей среды). Почти все эти работы регламентируются (нормируются) соответствующими директивно-нормативными документами.

Отмеченные различия в составе (содержании) инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий находят свое отражение и в содержании технического отчета. Для последних акцент делается на экологическую компоненту. Такой отчет включает в себя информацию об изученности экологических условий, краткую информацию о природных и техногенных условиях, описание почв, растительного и животного мира, сведения о хозяйственном использовании территории, социальной сфере и объектах историко-культурного наследия. На стадии проектной документации уточняются характеристики химического, физического, биологического и других видов загрязнений природной среды и прогнозные оценки этого загрязнения как в целом для природной среды, так и по ее компонентам, а также границы районов возможного распространения последствий намечаемой деятельности, включая аварийные ситуации.

В соответствии с пунктами 8.22-8.23 СНиП 11-02-96, графическая часть технического отчета в зависимости от стадии проектирования и решаемых задач должна содержать: карты современного экологического состояния, прогнозируемого экологического состояния, экологического районирования, геоэкологические карты и схемы зоны воздействия объекта и прилегающей территории с учетом возможных путей миграции, аккумуляции и выноса загрязняющих веществ, карты фактического материала, ландшафтные, почвенные, растительные, лесо- и землеустроительные и другие вспомогательные картографические материалы.

Графическая документация - экологические (или ландшафтно-экологические) карты (схемы) современного и прогнозируемого состояния изучаемой территории должны, как правило, составляться в масштабах:

1:50 000-1:10 000 при инженерных изысканиях для обоснований инвестиций в строительство и другой предпроектной документации в зависимости от величины предполагаемой зоны воздействия;

1:5000-1:2000, при необходимости 1:1000, на выбранной площадке (1:25 000-1:10 000 в прилегающей зоне) при инженерных изысканиях для проекта строительства.

На карте (схеме) современного экологического состояния в соответствии с п.8.23 указанных СНиП, следует отображать: распространение различных типов ландшафтов; функциональное зонирование территории; расположение основных источников загрязнения и их характеристики; возможные пути миграции и участки аккумуляции загрязнений; расположение особо охраняемых участков и зон ограниченного использования; расположение участков особой чувствительности к воздействиям опасных природных и техноприродных процессов; расположение объектов историко-культурного наследия; результаты геохимических, гидрохимических и радиационных исследований (в виде изолиний коэффициентов концентрации токсичных веществ в почвах, диаграмм концентрации загрязняющих компонентов в пробах поверхностных, подземных и сточных вод и т.п.); оценку совре-

менного экологического состояния территории и районирования по условиям экологического благополучия природной среды.

На карте (схеме) "прогнозируемого экологического состояния в зависимости от вида и характера воздействий и особенностей местных условий следует отображать:

ожидаемые изменения в ландшафтной структуре территории (деградация почв, трансформация растительных сообществ, сокращение лесных площадей и т.п.);

ожидаемые изменения отдельных компонентов окружающей природной среды (подъем уровня грунтовых вод, развитие заболачивания, подтопления, засоления, дефляции и других опасных процессов, деградация мерзлоты);

динамику предполагаемого распространения различных типов и видов загрязнений;

ожидаемые изменения общих оценок территории по степени экологического благополучия природной среды" (п.8.24, с.33).

Экологические карты (схемы) должны сопровождаться развернутыми легендами (экспликациями), необходимыми разрезами и другими дополнениями.

Завершая рассмотрение содержания и задач инженерно-экологических изысканий, необходимо подчеркнуть, что именно они являются базой для разработки оценки воздействия на окружающую среду. Она неразрывно связана со всем комплексом инженерно-геологических и, особенно, инженерно-экологических изысканий и базируется на тех же нормативно-методических документах:

Оценка воздействия любого объекта на окружающую среду (ОВОС) "...проводится с целью предотвращения деградации окружающей среды, восстановления нарушенных в результате хозяйственной деятельности природных систем, обеспечения сбалансированности намечаемой хозяйственной деятельности, создания благоприятных условий жизни людей, выработки мер, снижающих уровень экологической опасности намечаемой деятельности и *служит основой для принятия решений об осуществлении того или иного проекта* (курсив наш –В.Т., Д.Г.). В результате разработки ОВОС определяется степень экологического риска планируемой хозяйственной деятельности в периоды нормального режима эксплуатации объекта и аварийных ситуаций" (Временная инструкция по экологическому обоснованию хозяйственной деятельности в предпроектных и проектных материалах, 1992).

В общем виде ОВОС должна учитывать все виды воздействия на компоненты окружающей среды, включая экологические, экономические и социальные аспекты. В оптимальном виде ОВОС должна быть единой и комплексной.

Другим важным исходным положением является то, что ОВОС - это процесс, который ведется поэтапно по мере продвижения исследования с разграничением его на предварительную оценку воздействия планируемой деятельности на окружающую среду и собственно ОВОС. Такой подход заложен в качестве основы в Законе Российской Федерации "Об экологической экспертизе" (1995).

11.3.

Эколого-геологическая составляющая инженерно-экологических изысканий при разработке предпроектной и проектной документации

При инженерно-экологических изысканиях на любом этапе (стадии) изучения анализируется система геологических объектов, влияющих на состояние экологической обстановки. К их числу относятся природные и техногенные горные породы, почвы, донные осадки, подземные воды, природные и техногенные газы, являющиеся составными компонентами литосферы. Для этих геологических объектов в процессе инженерно-экологических изысканий СП 11-102-97 предусмотрено изучение большого числа параметров (табл. 71). Так, по радону оценивается средняя по площади здания плотность потока радона на поверхности грунта в $\text{мБк}/(\text{м}^2\text{с})$ с градацией менее 80, 80-200 и более 200. При газогеохимических исследованиях газогенерирующих грунтов выполняется шпуровая съемка грунтового воздуха и эмиссионная съемка (измерение потока биогаза на дневную поверхность) в масштабах 1:2000-1:500 (на проектных стадиях) и послойный отбор проб. Перечень оценок каждого из приведенных в табл. 70 геологических параметров регламентирован СП 11-102-97.

Таблица 71

Геологические объекты и параметры, изучаемые в процессе инженерно-экологических изысканий

Изучаемые геологические параметры (показатели)	Компоненты литосферы						
	Горные породы		Почвы	Донные осадки	Подземные воды	Газы	
	природные	техногенные				природные	техногенные
1	2	3	4	5	6	7	8
Сейсмические зоны	+	-	-	-	-	-	-
Литолого-фациальные	+	-	-	-	-	-	-
Структурно-текстурные	+	-	-	+	-	-	-
Физико-механические	+	-	-	-	-	-	-
Физико-химические и химические	+	+	+	+	+	-	-
Водно-физические	+	+	+	+	+	-	-
Фильтрационные	+	+	+	+	-	-	-
Сорбционные и миграционные	+	-	+	+	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
Емкость катионного обмена	+	-	+	-	-	-	-
Электропроводность	+	-	+	-	-	-	-
Геохимический состав	+	+	+	+	+	-	+
Геохимические аномалии	+	+	+	+	+	-	-
Гамма-излучение	+	+	+	+	-	-	-
Состав и содержание солей в водной вытяжке	+	-	+	-	-	-	-
Оторфованность	+	-	+	-	-	-	-
Газогенерирующие грунты	-	+	-	-	-	-	-
Активность потока биогаза	-	+	-	-	-	-	+
Наличие метана и CO ₂ в грунтовом воздухе	-	+	-	-	-	-	+
Газогеохимические аномалии	-	+	-	-	-	+	+
Газонасыщенность грунтов	-	+	-	-	-	-	-
Газогенерационная способность грунтов	-	+	-	-	-	-	-
Активность метаногенерирующей и метаноокисляющей способности микрофлоры в грунтах	-	+	-	-	-	-	-
Температурный и водный режим	+	+	+	+	+	-	-
Распределение преобладающих типов и подтипов почв	-	-	+	-	-	-	-
Характеристики почвенного профиля	-	-	+	-	-	-	-
Содержание гумуса	-	-	+	-	-	-	-

1	2	3	4	5	6	7	8
Насыщенность основаниями	-	-	+	-	-	-	-
Содержание общего азота	-	-	+	-	-	-	-
Содержание подвижного фосфора и калия	-	-	+	-	-	-	-
Эродированность	-	-	+	-	-	-	-
Биологическая активность	-	-	+	-	-	-	-
Объемная активность радона в почвенном воздухе	-	-	+	-	-	+	-
Плотность потока радона на поверхности грунта	+	+	+	-	-	-	-
Наличие и условия залегания водоупоров	+	-	-	-	+	-	-
Естественные и искусственные гидродинамические границы	-	-	-	-	+	-	-
Проницаемость пород зоны аэрации, водовмещающих и перекрывающих	+	-	-	-	+	-	-

Рассмотренные геологические объекты и характеризующие их параметры изучаются в ходе инженерно-экологических изысканий как для обоснования предпроектной, так и проектной документации. Различие в таком изучении заключается в его детальности. Это выражается в шаге и интервале опробования, масштабе картографических материалов. Так, на предпроектных стадиях детальность работ на выбираемых площадях должна отвечать масштабам: 1:10 000-1:5 000, а на проектных - 1:5 000-1:1000, в прилегающей зоне - соответственно 1:50 000-1:25 000 и 1:25 000-1:10 000. Масштаб используемых аэрофотоматериалов на предпроектных стадиях меняется от 1:200 000 до 1:125 000, допускающих пятикратное увеличение изображения до 1:20 000-1:25 000, а на проектных стадиях от 1:17 000 до 1:12 000 с соответствующим пятикратным увеличением; расстояние между горными выработками на предпроектных стадиях изысканий не должно превышать 450-500 м, а на проектных оно снижается в зависимости от литолого-фациальных

условий до нескольких десятков метров. Наземная гамма-съемка на предпроектных стадиях проводится по сетке с шагом не более 200-250 м, а на проектных — с шагом не более 50 м. Измерение объемной активности радона проводится с шагом сетки расположения контрольных точек (скважин, шурфов) на незастраиваемой потенциально радоноопасной площади 50х25 м, а на застраиваемой - 10х5 м. Для региональной оценки экологической ситуации на предпроектных стадиях изысканий оно выполняется в радиусе до 30 км и более от проектируемого объекта, а для локальной оценки на проектной стадии в радиусе нескольких километров.

Таким образом, следует еще раз подчеркнуть, что методы полевых, специальных и лабораторных исследований на стадии проектной документации по сравнению с предпроектной практически не меняются. Меняется значимость того или иного метода, его роль в получении эколого-геологической информации, но не их перечень. Сказанное относится и к исследуемым геологическим параметрам: они остаются прежними, но изменяется детальность их изучения, необходимость получения **количественных** характеристик, а, следовательно, частота и детальность опробования.

Аналогичная ситуация характерна и для картосоставительских работ. Увеличивается масштаб отчетных карт, увеличивается число точек наблюдения на 1 км, детальность описания геологического разреза, сокращаются интервалы опробования, хотя состав и названия карт остаются без изменения.

Анализ рассмотренных данных о геологических объектах, параметрах и детальности их изучения свидетельствует, с одной стороны, об антропоцентрической направленности регламентированных СП 11-102-97 инженерно-экологических изысканий, а с другой - о рассмотрении в этом документе всей этой информации вне связи с экологическими функциями литосферы. Последнее, вероятно, объясняется тем, что понятие "экологические функции литосферы" новое, появившееся на стадии завершения и утверждения указанного нормативного документа.

Кроме того, в СП 11-102-97 не предусмотрено изучение при инженерно-экологических изысканиях некоторых геологических объектов и ряда геологических параметров литосферы, имеющих важное значение для оценки эколого-геологической обстановки. Это, в первую очередь, касается изучения донных осадков и ряда геофизических полей и характеризующих их параметров. К этой же категории следует отнести оценки:

качества геологического пространства, регламентирующего возможности его рационального использования с экологических позиций;

динамики развития геологических процессов;

синергетики и каскадности проявления этих процессов;

донных осадков как вторичного источника техногенного загрязнения и др.

Представляется, что в последующих изданиях соответствующих нормативных документов, отмеченные позиции должны найти свое решение, обеспечив бо-

лее полное и экологически ориентированное изучение литосферы при производстве инженерно-экологических изысканий на стадиях предпроектной и проектной документации.

Литература

Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. Инженерно-экологические изыскания для строительства. СП 11-102-97. - М.: Госстрой России, 1997. - 41 с.

Строительные нормы и правила. Инженерные изыскания для строительства. СНиП 11-02-96. - М: Госстрой России, 1997. - 44 с.

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И МЕТОДИКА ИХ СОСТАВЛЕНИЯ

12.1. Эколого-геологические карты - геологические карты нового типа

Определение содержания понятия "эколого-геологическая карта". Традиционно основным способом систематики и показа пространственной геологической информации принято считать геологические карты. Для экологической геологии метод картографирования также является оптимальным. При этом возникла необходимость создания нового класса карт, которые были названы эколого-геологическими. Они представляют собой *графическую (если говорить точно — графо-математическую) модель эколого-геологической обстановки, дающую обобщенное изображение на топографической основе состояния компонентов литосферы, отражающих ее экологические свойства (функции). Основным отображаемым на такой карте показателем, должна быть интегральная или покомпонентная оценка состояния эколого-геологических условий литосферы, ранжированная по классам состояний, выполненная на основе анализа ее эколого-геологических функций -ресурсной, геодинамической, геофизической и геохимической.*

По сути речь идет о графическом отображении системы "литосфера–биота–человек" с акцентом на свойства литосферы, определяющие состояние биоты и условия проживания человека. Исходя из этого, на любых эколого-геологических картах должны найти отражение два блока информации о состоянии эколого-геологических условий литосферы и ее компонентов и о состоянии экосистемы, комфортности и безопасности проживания человека.

Одной из первых попыток регламентации эколого-геологических исследований и введения их в комплекс геолого-съемочных работ масштаба 1:200 000 с целью оценки эколого-геологической ситуации изучаемой территории является инструкция по составлению и подготовке к изданию листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (1995). В ней впервые в нормативных документах использован термин "эколого-геологическая карта" (без раскрытия его смыслового содержания) и предложено составление двух типов таких карт (схем) - эколого-геологических условий и **оценки** эколого-геологической опасности, или схемы районирования территории по эколого-геологическим опасностям. Содержание этих карт ограничено лишь абиотической компонентой экосистем с оценкой эколого-геологической обстановки по пяти грациям на основе учета устойчивости литосферы к техногенному воздействию.

Анализ классификаций геологических карт разной тематической направленности, показал, что эколого-геологические карты по своей структуре и функцио-

нальной ориентации, особенно с точки зрения практического использования, наиболее близки к картам инженерно-геологическим. В силу этого классификация последних, а также общие классификации географических карт, предложенные К.А.Салищевым (1976) и А.М.Берлянтом (1998), были использованы в качестве исходных при разработке систематики эколого-геологических карт.

Классификация эколого-геологических карт по содержанию. Эколого-геологические карты относятся к категории тематических геологических карт. По *содержанию* их целесообразно подразделять на четыре типа:

- карты эколого-геологических условий (обстановок);
- карты **эколого-геологического** районирования;
- карты эколого-геологические прогнозные;
- карты эколого-геологические рекомендательные.

Первый из этих типов теоретически должен относиться к категории фактологических карт, однако во многих случаях, в частности, при отображении данных в относительных единицах, такие карты составляются как фактолого-оценочные. Второй тип эколого-геологических карт представляет собой карты сугубо оценочные, третий - прогнозные, а четвертый - содержит природоохранные, точнее литоохранные, рекомендации, направленные на регулирование эколого-геологических условий с целью их сохранения или улучшения.

Каждый из названных четырех типов карт подразделяется *по характеру передаваемой содержательной информации* на два вида: аналитические (часто также называемые частными) и синтетические (комплексные). Первые характеризуют или на них оценивается, прогнозируется один или несколько показателей эколого-геологических условий, а на синтетических картах отображается весь их комплекс, в совокупности определяющий современную или прогнозируемую эколого-геологическую обстановку. Классификация эколого-геологических карт, составленная на основе названных признаков и терминологии, отображена на рис. 47.

Карты эколого-геологических условий отражают комплекс параметров или отдельные характеристики литосферы, которые характеризуют возможность воздействия компонентов литосферы на биоту (человека, фауну, флору, экосистему в целом). Это может быть, например, загрязненность **литосферы** токсикантами, пораженность геологическими процессами, неоднородность геофизических полей, недостаток для живого различных видов ресурсов. Эта прямая или относительная количественная или качественная информация дополняется сведениями об эндемичных заболеваниях населения, параметрах деградации экосистем и ее биотических компонентов. На этих картах все необходимые данные отображаются способом раздельного картографирования; суммарная их оценка по степени благоприятности, комфортности или безопасности проживания населения или экологического состояния экосистемы не дается. Легенда таких карт состоит из нескольких разделов, два из которых - информация об эколого-геологических свойствах литосферы и ее компонентов и о состоянии экосистемы и ее биотической составляющей с акцентом на человека - являются главными.

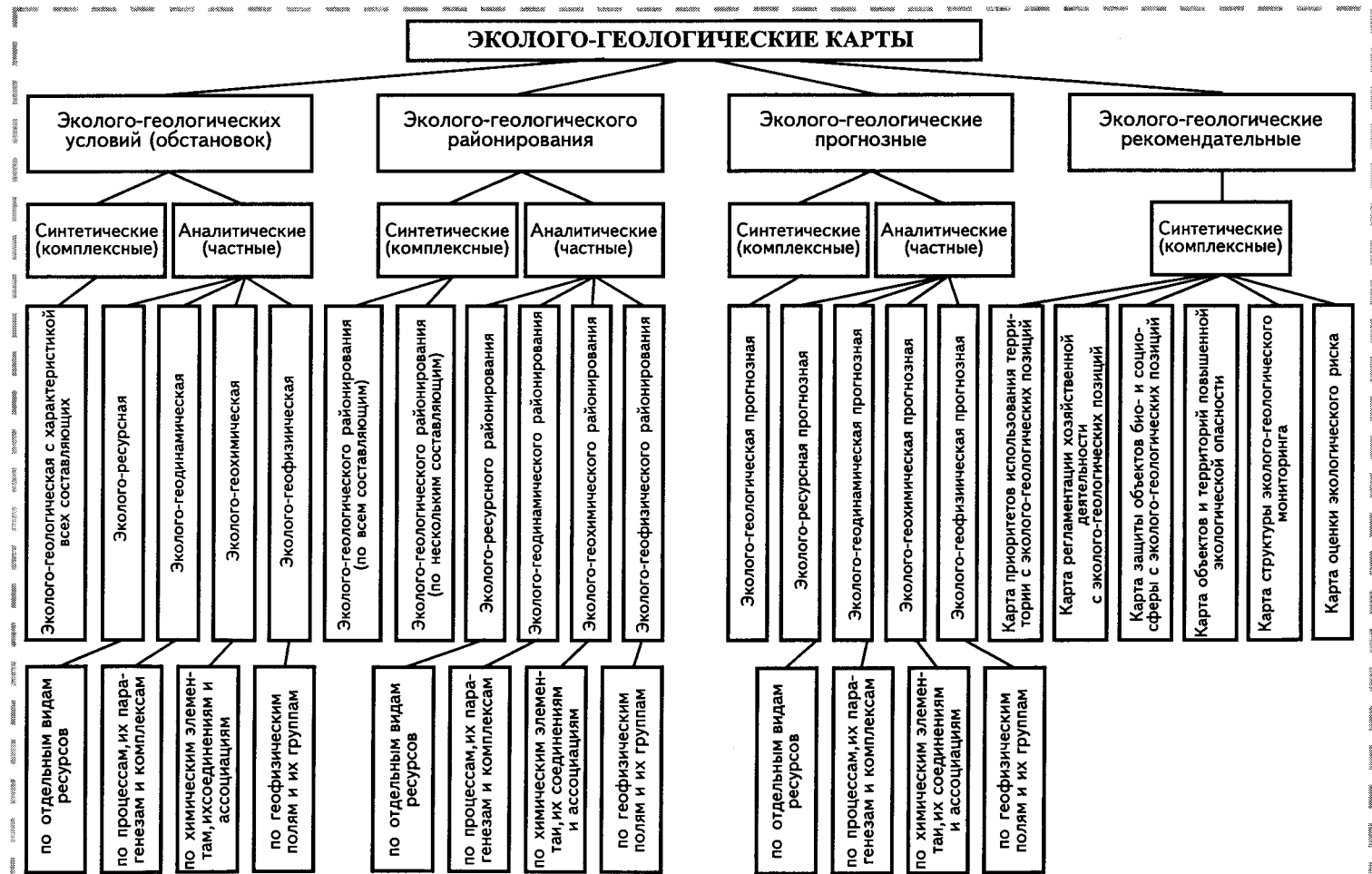


Рис. 47. Классификация эколого-геологических карт по содержанию

На картах эколого-геологических условий, синтетических по содержанию, картографическими приемами отображают всю совокупность необходимых параметров современной эколого-геологической ситуации. Такие карты являются основной разновидностью карт, комплексно характеризующих эколого-геологическую обстановку любой территории. Аналитические же карты этого типа несут достаточно полную пространственную информацию лишь об одной, как правило, характернейшей и важной для решения поставленной задачи черте этой обстановки. Содержание таких карт может быть разнообразным, а число - достаточно большое. Например, на таких картах могут отображаться особенности эколого-геологических условий, обусловленные проявлением только ресурсной или только геохимической экологической функции литосферы или даже отдельными ее компонентами. То же самое можно сказать и об особенностях эколого-геологических условий, обусловленных проявлением других функций литосферы. Аналитические карты, отражающие эти ситуации, целесообразно соответственно называть "эколого-ресурсной картой", "эколого-геодинамической картой", "эколого-геохимической картой" и "эколого-геофизической картой" (см. рис. 47).

Карты эколого-геологического районирования - это оценочные карты, на которых в тех или иных категориях дается оценка современного состояния эколого-геологических условий, как правило, способом ранжирования их на классы состояний. Это важнейший тип в составе эколого-геологических карт, являющийся базовым для прогнозных оценок и природоохранных рекомендаций. На этих картах на основе имеющейся эколого-геологической информации дается ее оценка с позиций комфортности и безопасности проживания человека и функционирования экосистем. В легенде карт районирования, как и в легенде карт условий, обязательно есть два блока: эколого-геологической информации о литосфере и ее компонентах и информация об экосистемах и их биотической составляющей. Принципиальное отличие этой информации в том, что на карте условий это фактологические характеристики, а на карте районирования - экологическая оценка этих характеристик с выделением классов состояния эколого-геологических условий литосферы и связанных с ним зон экологического состояния экосистем. Пространственное обособление территорий с определенным классом экологического состояния и является сущностью таких карт (Трофимов В.Т., 1993).

Карты эколого-геологического районирования по содержанию могут быть синтетическими и аналитическими. Среди последних целесообразно выделять "карты эколого-ресурсного районирования", "карты эколого-геодинамического районирования", "карты эколого-геохимического районирования" и "карты эколого-геофизического районирования" (см. рис. 47).

Карты эколого-геологические прогнозные отображают пространственно-временной прогноз изменения эколого-геологических условий в ходе естественной динамики природной среды и главное - в процессе хозяйственного освоения территории и функционирования природно-технических систем. На картах этого типа может быть отражен как комплексный (по всей совокупности параметров, условий и вероятностных природных и техногенных воздействий), так и частный (из-

менение какого-либо одного фактора под воздействием определенного вида) прогноз изменения эколого-геологических условий. Первому случаю отвечает синтетическая, второму - аналитическая эколого-геологическая прогнозная карта.

Легенда карт этого типа по своей структуре близка к карте эколого-геологического районирования. Ее принципиальное отличие заключается прогнозным характером даваемых оценок.

Карты эколого-геологические рекомендательные базируются на эколого-геологической и социально-экономической информации. На этих картах в графической форме могут быть отображены рекомендации по широкому кругу вопросов - от рационального использования территорий (с экологических и геологических позиций) до регламентации хозяйственной деятельности и защиты объектов био- и социосферы.

Карты этого типа составляются обычно как карты синтетические. Это обусловлено тем, что они призваны в графической форме отобразить рекомендации для целостного решения возникшей экологической задачи, связанной с особенностями эколого-геологических условий.

Отнесение карт данного типа к категории эколого-геологических - вопрос дискуссионный. Строго говоря, природоохранные карты, к которым, безусловно, относятся карты рассматриваемого типа, составляют особую категорию, самостоятельный класс тематических карт, которые помогают, способствуют принятию управляющих решений. Однако характер информации, а точнее - эколого-геологическое обоснование содержания таких карт позволяет рассматривать их в качестве "финального" блока карт эколого-геологического содержания.

Подразделение эколого-геологических карт по практическому назначению. По этому признаку эколого-геологические карты целесообразно подразделять, как и инженерно-геологические, на общие и специальные. На *общих* по практическому назначению эколого-геологических картах характеристика параметров эколого-геологических условий осуществляется без учета конкретного типа живого, по отношению к которому оценивается их влияние, и без учета конкретного, узко целевого использования карт. В силу этого общие эколого-геологические карты являются картами многоцелевого назначения. В отличие от них на *специальных* картах отображается только эколого-геологическая информация, необходимая для решения данной задачи.

При таком подходе на *общих* по назначению картах эколого-геологических условий отображается вся совокупность параметров, определяющих современную эколого-геологическую обстановку. На *специальных* картах эколого-геологических условий отображаются только те их факторы, которые необходимы для решения конкретной эколого-геологической задачи, например, оценки влияния природной радиоактивности горных пород на человека.

Аналогичным образом отображается необходимая информация на картах эколого-геологического районирования и прогнозных. На *общих* по назначению их различиях выделяются региональные или чаще типологические таксономические единицы, относительно однородные по совокупности эколого-геологических

условий, причем однородность определяется, как правило, в соответствии с наиболее распространенными классификациями или личными построениями автора. На специальных картах однородность условий выделяемых таксонов определяется в соответствии с той классификацией, которая в наибольшей степени отвечает решению поставленной задачи и, как правило, "задается" техническим заданием.

Прогнозные данные об изменении эколого-геологических условий под влиянием наиболее типичных природных и техногенных воздействий отображаются на общих по назначению картах. Вероятные изменения **тех** же условий под воздействием определенного типа и интенсивности - предмет показа на специальных эколого-геологических прогнозных картах.

Подразделение эколого-геологических карт по масштабу. По этому признаку эколого-геологические карты подразделены на обзорные (масштаб мельче 1:1 500 000), мелкомасштабные (1:1 000 000-1:500 000), среднемасштабные (1:200 000-1:50 000) и крупномасштабные (1:25 000 и крупнее).

Обзорные и мелкомасштабные эколого-геологические карты имеют, главным образом, научное и учебное значение и могут использоваться при проработке вопросов на этапах предпроектных разработок. *Среднемасштабные* карты являются основными по масштабу картами, с достаточной детальностью освещающими особенности эколого-геологических условий. Они могут использоваться на тех же этапах, а также непосредственно при проектировании объектов. *Крупномасштабные* карты, в большинстве случаев составляемые как карты специальные, используются непосредственно при проектировании объектов и экологически ориентированных мероприятиях, включая защитные.

Подразделение эколого-геологических карт по характеру обновления передаваемого материала. С этой позиции целесообразно выделять два типа эколого-геологических карт: с *фиксированным содержанием информации* и с *перманентно дополняемой (пополняемой) информацией*.

Подавляющая часть эколого-геологических карт, уже составленных и которые будут составляться и издаваться, относится к первой их категории. Главный недостаток - статичность, хотя эколого-геологическая обстановка является системой динамической. Этот недостаток может быть преодолен путем составления карт с перманентно дополняемой информацией. Такие карты обычно называют дежурными и их содержание постоянно пополняется новыми данными об изменении эколого-геологических условий.

Как дежурные могут составляться эколого-геологические карты разных типов, разного содержания. В первую очередь - это аналитические карты эколого-геологических условий, на которых отображаются все данные об установленных изменениях отдельных компонент геологической среды. На их основе может постоянно обновляться синтетическая по содержанию карта эколого-геологических условий.

Наличие и анализ дежурных эколого-геологических карт позволят получать оперативные и достоверные данные о динамике изменений и уже сформировавшейся измененности эколого-геологической обстановки. На этой основе можно



Рис. 48. Схема информационного обеспечения работ по составлению эколого-геологических карт разных типов

будет более обоснованно осуществлять мероприятия по рациональному, экологически ориентированному использованию территории, а в случае необходимости - управление ею с помощью ограничительных или защитных мероприятий.

Об информационном обеспечении работ по составлению эколого-геологических карт. На рис. 48 выделены основные блоки информации, обеспечивающей составление эколого-геологических карт того или иного типа.

Первый блок информации призван обеспечить возможность составления карты эколого-геологических условий (обстановок) и включает широкий круг показателей и характеристик, позволяющих оценить современное экологическое состояние литосферы (ее экологические свойства) и состояние экосистемы в целом или ее отдельных биотических компонентов. Эта информация может носить как точечный, так и площадной характер и отражать результаты полевых исследований и литературных и фондовых материалов. Для абиотических компонент экосистемы ее получает геолог, а для биотических - она собирается в соответствующих организациях или заказывается профессионально ориентированным специалистам. Следует еще раз подчеркнуть, что основное предназначение первого блока информации - систематизация всех фактологических данных по рассматриваемой проблеме и минимально ограниченный перечень информации по общегеологическим вопросам (в рамках необходимой геологической привязки полученной информации).

Второй блок информации призван обеспечить две позиции - проведение районирования и ранжирование собранной информации на четыре класса состояния эколого-геологических условий литосферы и установление связи с зонами экологической нарушенности территории. С первой позицией связан дополнительный сбор материалов о факторах, обеспечивающих проведение целенаправленного эколого-геологического районирования территории с учетом ее функциональной организации. Вторая позиция базируется на нормативно-методических публикациях и не нуждается в дополнительной собственно эколого-геологической и геологической информации.

Третий блок информации предназначен для составления прогнозных эколого-геологических карт и включает получение данных о результатах режимных наблюдений, необходимых для выявления тенденций эволюции компонентов литосферы при заданном уровне техногенной нагрузки, о планах хозяйственного развития территории и ожидаемой в связи с этим уровнем техногенной нагрузки.

Здесь существенным моментом является получение информации по режимным наблюдениям за всеми компонентами природной среды и экосистемы, отображаемыми на эколого-геологических картах, и о реальном ходе хозяйственного освоения или использования территории.

Важно подчеркнуть, что разработка природоохранных карт требует поиска и учета данных, выходящих за пределы профессиональных интересов геолога. Именно это требует **сопривлечения** для их составления специалистов соответствующего профиля при разработке рекомендаций для принятия управляющих решений.

12.2. Типы созданных геологических карт экологической направленности

Анализ опубликованных картографических материалов "экологической" направленности в науках о Земле позволяет констатировать, что эта проблема привлекла к себе внимание широкого круга специалистов и, в первую очередь, почвоведов, географов и геологов, а в последнее время - биологов и представителей медико-санитарных служб. Рассмотрение более 250 публикаций и геологических карт, *авторы которых считали их экологически ориентированными*, проведенное с эколого-геологических позиций, позволило выделить в их составе три группы, существенно различающихся по содержанию, полноте отображения и способу показа информации. Для карт первой группы - это в разной степени, но все же прямая эколого-геологическая оценка состояния картируемых объектов с выделением классов состояния, отражающих условия существования (проживания) биоты. На картах второй группы такой оценки уже нет; она производится только для геологических объектов (например в виде характеристики их устойчивости, измененности и т.п.) без связи их с состоянием биоты. Для карт третьей группы — это традиционная ситуационная геологическая информация по картируемым объектам,

которая может быть использована при составлении геологической основы эколого-геологических карт.

Карты первой группы могут считаться собственно эколого-геологическими. Они характеризуют систему "литосфера-биота (человек)" либо систему "техногенно измененная литосфера-биота (человек)". Поэтому цветовая закрашка на них отдается оценочной эколого-геологической информацией (классам состояния эколого-геологических условий литосферы, определяющим условия существования биоты и человека). Элементы ландшафтного или геолого-структурного районирования, а также техногенная нагрузка на литосферу являются той основой, которая обеспечивает показ граничных условий выделяемых геологических или иных природных тел и возможность оценки характера и интенсивности техногенного воздействия.

В качестве примера сошлемся на Геоэкологическую карту масштаба 1:1 000 000 (фрагмент) территории Российской Федерации и сопредельных государств, составленную И.М.Ципиной, В.Н.Островским, С.Л.Диковской и др. Ее содержание разрабатывалось большим коллективом специалистов из научных, учебных и производственных организаций. На карте цветовая закрашка отдана оценке "экологического состояния геологической среды" на основе анализа ее гидрогеологических, инженерно-геологических, геокриологических и геохимических компонентов в естественных и техногенно измененных условиях. Выделены территории разной степени благоприятности геологической среды для проживания человека и хозяйственного освоения с ранжированием на три класса состояний. Критериями такой оценки приняты: уровень залегания грунтовых вод, загрязненность подземных вод, сейсмичность, пораженность территории экзогенными геологическими процессами, техногенная нарушенность горных пород (техногенные ландшафты), загрязнение почв и донных осадков, радиоактивные загрязнения, модуль техногенной нагрузки, степень измененности ландшафта.

К рассматриваемой группе карт можно отнести и карты, отражающие загрязненность геологической среды с оценкой ее экологических последствий. Таковой является Карта радиоактивного загрязнения местности (цезием-137) масштаба 1: 200 000 ряда областей европейской части России. Критерием оценки на этой карте приняты условия проживания людей с учетом уровня загрязнения.

Для крупномасштабных карт, в частности для Махачкалы, в основу оценки экологической обстановки А.Л.Рагозиным, В.А.Пырченко и их соавторами (1996 г.) положен учет колебания уровня Каспийского моря, непосредственно отражающийся на условиях жизнедеятельности населения, и интенсивность развития связанных с ним геологических процессов (подтопление, заболачивание, засоление, абразия, нагоны и др.). С учетом уровня техногенного воздействия для городской территории выделены районы весьма неблагоприятные, неблагоприятные и относительно благоприятные для проживания и жизнедеятельности населения.

Ближние по идеологии карты составляются географами и почвоведом с акцентом, в первом случае, на характеристику ландшафтов, а во втором, - плодородия почв. Среди эколого-географических карт отметим Карту интегральной оцен-

ки экологического состояния европейской территории России масштаба 1: 4 000 000 (Л.В.Злотина, Р.С.Чалов и др.). В ее основе лежат частные схемы районирования территории (10 схем), отражающие воздействие антропогенных нагрузок на экосистемы в целом и их составные части с учетом степени их измененности. Одновременно анализировались и природные предпосылки экологической напряженности картируемой территории. Схемы районирования составлены по степени радиационного загрязнения территории, загрязнения почв тяжелыми металлами и пестицидами, поверхностных вод - фосфором (вследствие эрозии почв), эрозионно-экологическому состоянию пахотных земель, современной заовраженности территории, антропогенной измененности русел и размывом берегов рек, неблагоприятным проявлениям гидрологического режима рек и его антропогенным изменениям, экологическому состоянию районов нефтегазовых месторождений, экологическому состоянию акваторий морей, загрязненности воздушных бассейнов городов по суммарным выбросам ингредиентов в год. Этот комплект дополнен схемой заболеваемости населения. Каждый из показателей по совокупности качественных параметров ранжировался по пяти баллам, отражающим уровень экологической напряженности (ранги остроты экологической ситуации). Кроме того, каждому показателю на основе экспертных оценок присваивается весовой коэффициент от 1,0 до 0,5. С их учетом максимально возможная сумма баллов для определенной территории составила 23,5, а минимальная 0. Этот интервал и был ранжирован на пять групп, отражающих экологическую ситуацию на карте. Как отмечают сами авторы, эта карта не претендует на полноту учета всех факторов; однако она дает достаточно обоснованную картину современной экологической ситуации. Нам представляется, что карты подобного содержания можно с уверенностью относить к картам эколого-географического типа.

В качестве примера эколого-почвенной карты можно привести Карту эколого-агрогеохимического районирования Московской области (В.Н.Башкин, В.П.Учватов, А.Ю.Кудеярова и др.). На ней цветом выделены районы по экологически оптимальной биопродуктивности агроландшафтов, совмещающих получение необходимого урожая с минимизацией негативного воздействия на окружающую среду и человека. В качестве критериев оценки использовались содержание биофильных элементов и тяжелых металлов в биогеохимических цепях (снег, почвы, поверхностные и грунтовые воды, растительность) с одновременной оценкой порядка 30 физиологических параметров у 150 пациентов - жителей сельских районов Подмоскovie. Затем на компьютере проводился анализ взаимосвязей между параметрами природной организации территории (уровнем антропогенной нагрузки - атмотехногенная поставка, количеством вносимых удобрений и мелиорантов и т.д.), содержанием загрязнителя в различных звеньях биогеохимических пищевых цепях и состоянием физиологических систем региональной популяции человека.

Карты второй группы характеризуют измененность, пораженность или устойчивость литосферных блоков в рамках природной литосистемы или литотехнической системы. Цветовая закрашка на них отдается показу степени измененности либо степени устойчивости картографируемого объекта. Это и карты, отража-

ющие степень пораженности территории геологическими процессами природного и техногенного происхождения, уровень или степень загрязненности приповерхностной части литосферы и подземных вод (природные и техногенные геохимические аномалии), аномалии геофизических полей, состояние минерально-сырьевых ресурсов и т.д. На этих картах отражается степень измененности литосферного блока или его компонентов по площади, глубине и интенсивности, *но без оценки воздействия этих изменений на биоту и человека*. Они включают в себя и группу карт "опасности", связанной с оценкой геологических процессов природного и антропогенного происхождения (карты сейсмического районирования, лавиноопасных районов, селевой опасности, районирования по степени карстовой опасности, опасности подтопления, карта эрозионноопасных земель и др.). Определение категории опасности дается на основании соответствующего ранжирования коэффициента пораженности территории процессом, его интенсивности - по объему сносимого материала или на основании экспертной оценки.

В качестве примера можно привести макет карты устойчивости массивов пород к техногенным воздействиям В.Т.Трофимова, Н.С.Красиловой и др., на которых за критерий устойчивости принимается вероятность возникновения неблагоприятных антропогенных процессов под действием техногенной нагрузки определенного характера и интенсивности. Оценка дается с учетом состава, состояния пород в массиве, сейсмичности, энергии рельефа, пораженности геологическими процессами, наличия в массиве потенциальных поверхностей разрушения, степени влажности или обводненности пород. В числе техногенных воздействий рассматриваются статические и динамические нагрузки определенной интенсивности в условиях техногенного увлажнения и без него, изменения и колебания уровня подземных вод, воздействия водного потока с различными скоростями и др. Экологическое значение подобных карт второй группы заключается в том, что они позволяют определить предельно допустимую интенсивность техногенных нагрузок и техногенных изменений, превышение которых может вызвать негативные последствия для существования биоты и комфортности проживания человека.

К этой группе также следует отнести карты риска и ущерба, получившие широкое распространение за последнее время. Такие карты составляются как для отдельных городов, так и для больших территорий. Например, для Махачкалы такая карта составлена А.Л.Рагозиным, В.А.Пырченко, И.О.Тихвинским. На ней дана оценка экономического риска от таких процессов, как затопление, абразия, подтопление, сейсмические воздействия и т.п., связанные с подъемом уровня Каспия. Оценка геологического риска для больших территорий (на уровне областей) проводится в зависимости от развития ущербобразующих процессов, возникающих при техногенных воздействиях в определенной инженерно-геологической обстановке, качественно с выделением градаций, или полуколичественно с использованием балльных шкал.

Карты третьей группы представляют собой, несмотря на то название, которое дали им авторы, в разной степени модифицированные традиционные геологические, тектонические, геоморфологические, гидрогеологические, геохронологические,

ческие, геохимические и другие карты геологического цикла. Это самая многочисленная группа карт, несущая информацию о распространении геологических явлений, ареалах рассеивания элементов, функциональной структуре территории, источниках техногенного загрязнения, содержании загрязняющих элементов, характеристиках значений физических полей, метрических параметрах рельефа, геологическом строении территории, разрывных тектонических нарушениях, зонах повышенной проницаемости и т.д. Имеющаяся на них информация может и должна быть использована при составлении эколого-геологических карт, но *сами карты не могут претендовать на такое название, хотя в ряде случаев авторы называют их "геоэкологическими"*.

Результаты анализа содержания "экологизированных" геологических карт свидетельствуют о чрезвычайно широком диапазоне отображаемых показателей и их оценок, а главное - об отсутствии до сих пор согласованных представлений о содержании таких карт и способах показа на них необходимой информации. Каждый автор или авторский коллектив решал задачу применительно к своему видению проблемы. Отсюда - отсутствие единых представлений о содержании и конкретной информации, обязательной для показа на эколого-геологических картах. В этом плане они отличаются от геологических, инженерно-геологических, гидрогеологических карт, за названиями которых стоят общепринятое и узаконенное директивными и методическими документами содержание и способ отображения передаваемой информации.

Для экологически ориентированных геологических карт наметилось близкое понимание их содержания по двум следующим позициям:

обязательность показа источников техногенного воздействия на литосферу с указанием вида, объема и режима выбросов;

проведение функционального зонирования территории и составление таких карт на основе ландшафтной карты, карты типологического инженерно-геологического районирования или карты чувствительности (устойчивости) приповерхностной части литосферы к техногенному загрязнению.

Однако могут быть и другие варианты. Это позиция, которую не следует лимитировать и создавать жестких рамок. Что же касается основной смысловой (содержательной) нагрузки эколого-геологических карт, которой отдается цветовое изображение, единых представлений пока не выработано.

В заключение еще раз подчеркнем, что собственно эколого-геологическими картами следует называть только карты первой группы, а за остальными - сохранить их прежние названия, не стараясь придавать им ложную экологическую направленность только изменением их названия.

12.3. Концептуальные основы составления эколого-геологических карт

Определение содержания эколого-геологических карт приведено ранее. В основу методики их составления положено учение об экологических функциях литосферы. Оно позволяет вычленить объект эколого-геологических исследований в виде эколого-геологических свойств литосферы и их взаимосвязей с биотой и техногенезом.

Опираясь на эти представления, В.Т.Трофимовым, Д.Г.Зилингом и Н.С.Красиловой (1998) были разработаны и предложены концептуальные основы эколого-геологического картографирования, которые можно рассматривать в качестве его методической базы, отвечающей требованиям, изложенным выше. Они включают ранее приведенное определение содержания понятия "эколого-геологическая карта" и следующие позиции:

1) ранжирование состояния эколого-геологических условий литосферы в целом или ее компонентов должно производиться на согласованное число классов;

2) критериями выделения классов состояния эколого-геологических условий литосферы и связанных с ними зон экологического состояния экосистем на картах служат ряд показателей, которые разделяются на тематические, пространственные и динамические;

3) выделение классов состояния эколого-геологических условий литосферы и зон состояния экосистемы может и должно осуществляться на основе небольшого числа наиболее представительных показателей, но обязательно с использованием и взаимным учетом тематических, пространственных и динамических критериев оценки;

4) основные требования к геологической основе эколого-геологической карты - отображение на ней показателей, на базе которых возможна площадная оценка экологического состояния картируемого объема литосферы и разработка прогнозных оценок;

5) классификация эколого-геологических карт по содержанию и масштабу должна учитывать все их многообразие и обеспечивать возможность учета эколого-геологической обстановки при реальном проектировании экологически ориентированных мероприятий;

6) характеристика состояния эколого-геологических условий литосферы или их оценка в тех или иных категориях должны отображаться на эколого-геологических картах всех типов *фоновой цветовой закрашкой*;

7) выбор способов отображения на карте интегральной оценки состояния эколого-геологических условий литосферы может проводиться на основе "суммирования" оценок различных экологических свойств отдельных компонентов литосферы разными способами.

Кратко раскрывая содержание первой из них, подчеркнем, что на современном этапе оптимальна четырехранговая структура, предусматривающая выделение классов удовлетворительного (благоприятного), условно удовлетворительно-

го (относительно неблагоприятного), неудовлетворительного (весьма неблагоприятного) и катастрофического состояний эколого-геологических условий литосферы (см. раздел 3.2). При использовании предложенного подхода самым важным и принципиальным является даже не столько число выделенных классов состояний эколого-геологических условий, а обязательное сопоставление состояния экосистемы и ее абиотической составляющей (в данном случае литосферы) с ее компонентами. Только тогда обеспечивается эколого-геологическая оценка состояния объекта исследований. Общее представление об изложенном подходе к оценке состояния эколого-геологических условий литосферы и ее компонентов изложено в главе 3.

Вторую позицию прокомментируем так. Тематические критерии выделения классов состояния эколого-геологических условий литосферы и связанных с ним зон экологического состояния экосистем являются по сути индикаторными, позволяющими на основе ботанических, зоологических, медико-санитарных и собственно геологических критериев оценивать состояния биоты и экосистемы в целом. Выбор их зависит от конкретных ландшафтно-климатических и геологических условий территории и степени антропогенного влияния. Эти оценки дополняются анализом пространственных и динамических критериев, учитывающих площадь поражения и скорость нарастания негативных явлений через прямые характеристики (проценты площади, проценты в год и т.д.). Оценка состояния литосферы проводится на основе ресурсных, геодинамических, геохимических и геофизических показателей. Ресурсные показатели дают представление о вещественно-энергетическом состоянии, геохимические и геофизические - о загрязнении и развитии геопатогенных аномалий, геодинамические - о развитии деструктивных геологических процессов природного и антропогенного происхождения.

В пояснение третьей позиции важно отметить, что ее реализация в каждом конкретном случае - по существу, предмет специального содержательного исследования. Следует также подчеркнуть, что единого интегрального показателя состояния эколого-геологических условий литосферы и экосистемы в природе не существует; однако число наиболее представительных показателей может быть сведено к разумному минимуму.

Четвертую позицию поясним подробнее. Геологическая основа эколого-геологической карты должна позволить осуществить обоснованное вычленение территорий или литосферных блоков, однородных по своему строению и с близкой реакцией на техногенное воздействие и его экологические последствия. Она обеспечивает учет и отражение экологических свойств литосферы, влияющих на состояние и комфортность проживания биоты и человека. Следовательно, выбор варианта геологической основы в каждом конкретном случае - процесс творческий, далекий от шаблона; он определяется двумя главными факторами - функциональной спецификой картируемого компонента литосферы (ресурсной, геодинамической, геофизической и геохимической) и масштабом карты. Так, для карт, отображающих эколого-геохимическую компоненту, это будут факторы, обуславливающие патогенность геохимических аномалий и условия миграции водных растворов, а для карт эколого-геофизических компонент - факторы, обуславли-

ющие приуроченность и характер неоднородности геофизических полей. В качестве таковых могут быть разные структурные неоднородности литосферы - зоны глубинных разломов, зоны повышенной проницаемости и другие. Их выбор определяется масштабом карты и видом (типом) картируемого геофизического поля.

При оценке эколого-геологического состояния приповерхностной части литосферы, обусловленного неоднородностью геодинамической функции, в качестве приоритетного варианта геологической основы карты (для горно-складчатых территорий) можно предложить определенный иерархический ряд региональных, локальных и элементарных природно-территориальных систем. Признаками их выделения последовательно являются: структурно-тектонические особенности территории → геоморфологические (морфоструктурные) → морфометрические → состав, мощность и обводненность четвертичных отложений → характер почвенно-растительного покрова. Учет перечисленных факторов (признаков) обеспечивает возможность анализа и прогноза динамики развития экзогенных геологических процессов, а, следовательно, и их воздействия на биоту.

При оценке состояния эколого-геологических условий приповерхностной части литосферы за счет неоднородности геохимических полей наиболее удачным вариантом геологической основы карты представляется иерархический ряд таксономических единиц, выделяемый на основе учета ландшафтно-геохимических факторов, определяющих миграцию элементов. Для горных территорий это будут ландшафты высокогорий, средне- и низкогорий, предгорных равнин. Они отличаются между собой по характеру и составу почв, растительности, водному балансу. В их составе выделяются трансэлювиальные, трансаккумулятивные и транссупераккумулятивные ландшафты более низкого уровня, определяющие возможность горизонтальной миграции загрязнителей. Они достаточно четко увязываются с геоморфологией территории и морфометрическими характеристиками рельефа. Следующим таксономическим уровнем является класс водной миграции в гумусовом горизонте почв, контролирующей условия миграции различных элементов. Далее идут ландшафты, выделяемые по почвообразующим и почвоподстилающим породам, а микроландшафты - по составу растительности, способной накапливать токсиканты и дающие начало трофической цепи миграции элементов. Определенные нюансы в эту общую схему разработки геологической основы вносит генезис патогенных геохимических аномалий. Для природных аномалий (в соответствии с эпюрой загрязнения) предпочтение должно отдаваться породам, включающим повышенные концентрации элементов, с которыми связаны геохимические провинции, а для техногенных аномалий - сорбционные и окислительно-восстановительные характеристики почв (особенно гумусового горизонта), являющегося основным геохимическим барьером на пути вертикальной миграции загрязнителя. Выбор набора (уровня) перечисленных таксонов определяется масштабом карты.

Таким образом, геологическая основа эколого-геологических карт должна отражать те свойства литосферы, которые через геологические процессы, геохимические и геофизические поля воздействуют на биоту. Отсюда следует вывод, что для поставленных целей практически невозможно предложить единую геологиче-

скую основу эколого-геологических карт, удовлетворяющую всему многообразию экологических свойств литосферы. Ее целесообразно составлять отдельно для каждой экологической функции литосферы, а возможно и для их отдельных элементов (геофизических полей, типа геохимических аномалий, парагенетических групп геологических процессов). Уровень и возможность последующей интеграции геологической основы эколого-геологических карт – вопрос открытый и пока весьма проблематичный.

Последняя позиция также требует специального пояснения. Ее реализация открывает перспективу осуществления интегральной оценки не только на базе "балльного" подхода, всегда являющегося субъективным, *но и на основе установления класса состояния по наиболее экологически неблагоприятному компоненту литосферы* либо ее экологической функции. Для этого на основе матричной легенды эколого-геологической карты (рис. 49) определяется максимально "неблагоприятное" экологическое свойство литосферы (через ее экологические функции), которое и определяет класс состояния территории. Для учета всей гаммы экологических свойств литосферы (состояний) составляется циклограмма с выделением сегментов по числу анализируемых свойств и ранжированием их по классам состояний. Примеры такой оценки приведены на рис. 50 с показом класса состояния территории и оценкой экологических свойств литосферы в соответствии с рис. 49.

Состояние эколого-геологических условий	Экологические функции литосферы					
	Ресурсная			Геодинамическая	Геохимическая	Геофизическая
	минерально-сырьевые ресурсы для биоты	минерально-сырьевые ресурсы для человеческого общества	ресурсы геологического пространства			
Удовлетворительное (У)	1 ^а	1 ^б	1 ^в	2	3	4
Условно удовлетворительное (УУ)	1 ^а	1 ^б	1 ^в	2	3	4
Неудовлетворительное (НУ)	1 ^а	1 ^б	1 ^в	2	3	4
Катастрофическое (К)	1 ^а	1 ^б	1 ^в	2	3	4

1
 2
 3
 4

Рис. 49. Оценка состояния эколого-геологических особенностей компонентов литосферы с учетом ее экологических функций

Класс состояния эколого-геологических условий: 1 – удовлетворительное; 2 – условно удовлетворительное; 3 – неудовлетворительное; 4 – катастрофическое

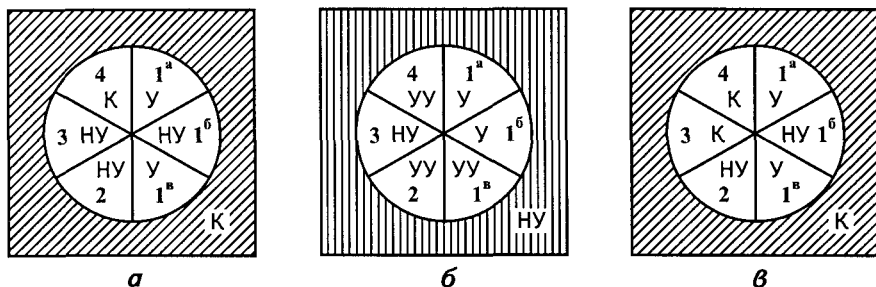


Рис. 50. Типовой вариант интегральной оценки состояния эколого-геологических условий литосферы

Штриховка, цифровые и буквенные индексы в соответствии с рис. 49: *а* – интегральная оценка соответствует классу катастрофического состояния эколого-геологических условий и принимается по состоянию геофизических полей (4), состояние остальных компонентов литосферы более благоприятное и варьирует от класса удовлетворительного состояния (1а, 1б) до класса неудовлетворительного состояния (1б, 2); *б* – интегральная оценка соответствует классу неудовлетворительного состояния эколого-геологических условий (НУ) и принимается по состоянию геохимической обстановки (3), состояние остальных компонентов литосферы более благоприятное и варьирует от класса удовлетворительного (1а, 1б) до класса условно удовлетворительного (1б, 2, 4); *в* – интегральная оценка соответствует классу катастрофического состояния эколого-геологических условий и принимается по состоянию геохимико-геофизических полей (3, 4), состояние остальных компонентов литосферы более благоприятное и варьирует от класса удовлетворительного (1а) до класса неудовлетворительного состояния эколого-геологических условий (1б, 2)

Приведенный на рис. 50 тип циклограммы должен характеризовать на карте каждый анализируемый контур (выделенный таксон районирования), реализуя на практике принцип оценки территории по экологически "худшему" показателю. Предполагаемая оценка отличается большей адресностью и корректностью по сравнению с балльной. Она конкретно отвечает на вопрос: что и где нуждается в инженерной защите или природоохранных мероприятиях.

Резюмируя сказанное, можно констатировать, что, с одной стороны, назрела реальная необходимость в составлении нового типа геологических карт – эколого-геологических, а с другой – что существуют достаточно четкие практические предпосылки к разработке содержания этих карт на базе предлагаемых концептуальных подходов и учения об экологических функциях литосферы.

12.4. Примеры эколого-геологических карт разного содержания и масштабов

Эколого-геологические карты, содержание которых отвечает сформулированным требованиям, начали составляться геологами лишь в последние годы. Наиболее широкое распространение получили эколого-геодинамические и эколого-геохимические карты.

На таких картах отображаются особенности эколого-геологических условий, обусловленные реализацией геодинамической экологической функции литосферы. Чаще всего такие карты составляются как карты эколого-геодинамического районирования.

Карта эколого-геодинамического районирования центральной части Молдавской плиты масштаба 1:200 000 составлена Д.Г.Зилингом, М.А.Харькиной и В.А.Осиюком. Легенда карты состоит из четырех разделов, каждый из которых несет определенный объем эколого-геологической информации.

Первый раздел, определяющий содержательную часть и само название карты, включает оценку состояния эколого-геодинамических условий территории. В качестве критериев такой оценки для обособления классов состояния эколого-геологических условий верхних горизонтов литосферы рассматривались сейсмическая балльность, пораженность территорий оползнями и оврагами, смыв почвенного горизонта, ожидаемая просадочность грунтов, скорость роста подтопленных территорий (с глубиной залегания грунтовых вод менее 3 м), объем и величина переработки берегов водохранилищ, скорость их заиления, а при оценке биотической компоненты экосистемы плотность населения на территориях различной функциональной организации, человеческие жертвы при землетрясениях, плодородие почв. В левой части таблицы, в виде которой выполнен этот раздел легенды, по вертикали выделены три класса состояния эколого-геологических условий (удовлетворительное, условно удовлетворительное и неудовлетворительное), в центральной (по горизонтали) – собственно критерии оценки интенсивности проявления геологических процессов и их последствий, а в правой части таблицы описаны экологические последствия (отдельно для человека и экосистемы) с выделением зон различного состояния экосистем: нормы, риска и кризиса (табл. 72).

Второй раздел легенды также выполнен в форме таблицы, в которой систематизированы данные о территориальных природных таксонах разных порядков, обособленных на исследованной территории (табл. 73). Здесь же приводится индекс каждого выделенного таксона в точно таком же виде, как он показан на карте.

В *третьем* разделе легенды систематизированы данные о функциональной организации хозяйственного использования территории. Выделяются следующие шесть ее типов: селитебно-промышленный, сельскохозяйственный, транспортный, водохозяйственный, лесохозяйственный и природоохранный. В рамках ряда из них выделяются подтипы, причем каждый тип и подтип выделены на карте определенными штриховыми условными знаками.

В *четвертом* разделе легенды, названном "Прочие обозначения", сгруппированы сведения о различных типах границ, показанных на карте, буквенные индексы, присвоенные различным геологическим процессам, и буквенно-цифровые коды, которые характеризуют каждый контур, выделенный на карте. В числителе каждого такого индекса приведено буквенно-цифровое обозначение данного территориального таксона с учетом функциональной организации территории, в зна-

менателе - интегральная оценка состояния экосистемы (норма, риск, кризис) через последствия проявления геологических процессов.

Систематизированная в легенде в виде четырех разделов информация *на карте отражена следующим образом*. Цветовое фоновое изображение на карте отражает характеристику состояния эколого-геологических условий. Зеленым цветом показаны площади с удовлетворительным их состоянием, желтым - с условно удовлетворительным и оранжевым - с неудовлетворительным. Границы территорий с различной функциональной организацией выделены толстыми линиями фиолетового цвета, а площади этих территорий фоновыми знаками черного цвета. Таковыми же условными знаками показана и другая информация, в том числе и буквенно-цифровые индексы.

Подобный подход был использован Д.Г.Зилингом, М.А.Харькиной и В.А.Осипюком при создании ***Карты эколого-геодинамического районирования территории Молдовы масштаба 1:1 500 000***. Легенда карты построена таким же образом. Идею отражения необходимой информации, несмотря на существенно разросшийся по объему второй раздел легенды и мелкоконтурность обособленных как следствие таксонов, удалось выдержать. В итоге составленная карта оказалась информативной, принципиально новой по содержанию и читаемой.

Карта эколого-геодинамического районирования Тырныаузского района масштаба. 1:200 000 разработана Н.С.Красиловой и В.Т.Трофимовым как вариант создания таких карт для условий горно-складчатых регионов. Легенда этой карты, разработанной для оценки условий жизнедеятельности человека, включает пять разделов.

Первый раздел - оценка эколого-геодинамического состояния массивов горных пород - является важнейшим, и его содержание передается на карте цветом. Этот раздел оформляется в виде таблицы с тремя вертикальными графами: в первой из них показаны классы эколого-геологического состояния массивов горных пород (удовлетворительное, условно удовлетворительное, неудовлетворительное и катастрофическое), во второй - геодинамические критерии выделения этих классов, в третьей - экологические последствия геодинамических воздействий (через зоны экологического состояния для человеческого сообщества или биоты в целом). Методика такой оценки описана ранее (см. гл. 3 и 6).

Во *втором* разделе легенды дается перечень структурно-тектонических и геоморфологических единиц территории и их характеристика. Этот раздел легенды содержит несколько граф: структурно-тектонические единицы второго и третьего порядков; геоморфологические единицы первого и второго порядков и их ландшафтная характеристика; строение зоны аэрации; особенности характера обводненности пород; сейсмическая балльность; характеристика геологических процессов; номер (индекс) выделенного массива пород, под которым он вынесен на карту. Содержание граф определяется качеством и количеством исходной информации. Геоморфологические единицы первого порядка выделяются по морфоструктурному признаку с последующим разделением на элементы второго порядка с учетом их положения относительно высотной зональности, характера и состава

**Раздел I. "Критерии оценки состояния эколого-геодинамических
легенды Карты эколого-**

Состояние эколого-геологических условий	Критерии оценки геологических												
	опасных			неблагоприятных									
	землетрясений, балльность по MSK-64			оползней		овражной эрозии		плоскостной эрозии	просадок	подтопления			
	Для города с многоэтажной застройкой (тип В)	Для сельской местности с одноэтажной за- стройкой (типы А и Б)	Для ненаселенной местности	Пораженность территории, %	Увеличение площади поражения, % в год	Плотность оврагов, шт/км ²	Скорость роста оврагов, м/км ² в год	Смыв почвенного горизонта, т/га в год	Ожидаемая просадка при увлажнении, см	Скорость роста площадей с УГВ менее 3м, %			
	Удовлет- вори- тельно	Условно удовлет- вори- тельно	Неудовлет вори- тельно	1	1-5	< 8	< 5	< 1	< 0,3	< 1	< 10	< 5	< 5
	2-5	6-8	-	5-25	1-2	0,3-1,0	1-5	10-100	> 5	5-25			
	6-8	-	-	> 25	> 2	> 1,0	> 5	100-200	-	> 25			

условий территории по экологически значимым процессам”
геодинамического районирования

процессов			Последствия проявления геологических процессов									Зоны состояния экосистем
			опасных			неблагоприятных						
абразии берегов водо- хранилищ		заиления водохранилищ	землетрясений			оползней	овражной эрозии	плоскостной эрозии	подтопления	абразии, заиления		
Объем переработки, м ³ /м	Величина переработки, м	Скорость заиления, % в год	Число жителей в населенном пункте, тыс. чел.	Человеческие жертвы	Психические воздействия	Разрушение, перенос домов, коммуникаций, дискомфорт проживания, сокращение земельного ресурса	Потеря земельного ресурса, дискомфорт проживания	Плодородие почв от потенциального, %	Дискомфорт проживания	Потеря земельного фонда и водохозяйственных объектов		
< 135	< 34	< 1	Не оцен.	-	-	Не прояв.	Незна- чит.	> 85	Не ощущ.	Незна- чит.		
> 135	> 34	1-2	До 50	-	Неуверенность, страх	Единичные случаи	Замет- ные	65-85	Замет- ный	Замет- ные		
-	-	> 2	100-700	Возможны (до сотен человек)	Испуг, паника	Типично	-	< 65	-	-		

Раздел II. “Территориальные единицы районирования”
легенды Карты эколого-геодинамического районирования центральной части Молдавской плиты

Тектоническая структура	Морфологические и геоморфологические структуры			Преобладающий тип пород в зоне аэрации	Преобладающий тип почв	Индекс на карте
	Типологические морфоструктуры I порядка	Направление и скорость (мм/год) неотектонических движений	Типологические геоморфологические структуры II порядка и их условные обозначения на карте			
Молдавская плита (М)	Эрозионно-денудационные возвышенности (I)	Поднятия, 4-10	Холмистые и холмисто-грядовые сильнорасчлененные возвышенности плиоценового возраста (1)	Переслаивание глин и алевролитов (П)	Бурые и серые лесные	MI ^П ₁
	Эрозионно-денудационные равнины (II)	Поднятия, до 2	Волнистые среднерасчлененные возвышенные равнины плиоценового возраста (2)	Переслаивание песков, глин и алевролитов (П)	Черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные и серые лесные	MI ^П ₂
	Эрозионно-аккумулятивные равнины (III)	Поднятия и опускания, до 2	Аллювиальные слаборасчлененные низменные равнины плейстоценового возраста (3)	Суглинки, супеси, пески, галечники (А) Лессы (Л)	Черноземы карбонатные	MI ^А ₃
			Аллювиальные слаборасчлененные низменные равнины голоценового возраста (4)	Галечники, пески, суглинки (А)	Черноземы обыкновенные Аллювиальные луговые слабозасоленные	MI ^Л ₃ MI ^А ₄

пород. Для каждого геоморфологического элемента второго порядка дается характеристика коренного ландшафта, включающая рельеф, преобладающие экспозиции склонов, почвы и растительность.

Каждый структурно-тектонический и геоморфологический элемент первого порядка получает индекс из сочетания арабских и римских цифр (I, I₁ и т.д.), а геоморфологические элементы второго порядка индексируются просто арабской цифрой (1, 2, 3,...). Комплекс пород, слагающий геоморфологический элемент второго порядка, с учетом его высотного положения, характера рельефа, типов почв, травянистой и древесной растительности, получает статус массива, эколого-геодинамическое состояние которого далее оценивается на карте. Ему присваивается тот же номер, но если он неоднороден по характеру и интенсивности геологических процессов, то массив подразделяется соответственно с добавлением буквенных индексов (1^а, 1^б и т.д.).

В *третьем* разделе легенды рассматривается качество пород массива и их влияние на развитие геологических процессов; при этом качество пород оценивается и как природное, и как техногенно измененное в результате загрязнения. В этом же разделе при необходимости может быть охарактеризована литотоксичность пород, хотя это, безусловно, эколого-геохимическое свойство. Поэтому природные качества породы могут быть подразделены на нелитотоксичные и литотоксичные, литотоксичные руды, радоноопасные и радиоактивные породы.

В *четвертом* разделе легенды содержится характеристика измененности природных условий вследствие техногенных воздействий, которая включает: наложенные техногенные ландшафты и степень техногенной нарушенности коренного ландшафта. К наложенным техногенным ландшафтам могут быть отнесены сельскохозяйственные земли (не мелиорируемые, пахотные орошаемые, животноводческие горно-пастбищные и лугово-сенокосные, лесопромышленные вырубки и пр.), рекреационные земли, селитебные (города, поселки и пр.), промышленные и т.д. В зависимости от характера освоенности района и масштаба карты техногенные ландшафты могут и дополняться, и детализироваться. Выделение техногенных ландшафтов сразу дает представление о возможных типах техногенных воздействий, степени преобразования коренных ландшафтов, возможных антропогенных процессах.

По степени техногенной нарушенности, исходя из объема и интенсивности преобразования природной среды, выделяется четыре категории массивов:

техногенная нарушенность практически отсутствует - массивы, развитые на территориях, не используемых для хозяйственной деятельности человека из-за неблагоприятных природных условий, на слабоосвоенных или на охраняемых территориях;

техногенная нарушенность ограниченная, когда деформация литогенной основы прослеживается на глубину не более 5 м, не превышает порог устойчивости природной среды и не приводит к негативным последствиям для природы. Сюда могут войти массивы, используемые для сельскохозяйственной, лесохозяйственной и подобной деятельности, когда преобразования природной среды по-

верхностны, а интенсивность их не вызывает широкого развития негативных техногенных процессов (дефляцию, эрозию, смыв почв, деградацию пастбищ и т.п.);

техногенная нарушенность значительная, когда деформация массивов пород прослеживается на глубину более 5 м или на глубину до 5 м, но превышает порог устойчивости природной среды с развитием негативных техногенных процессов. Сюда войдут массивы, территории развития которых вовлечены, к примеру, тоже в сельскохозяйственную деятельность, но ее интенсивность обуславливает развитие техногенных процессов, ведущих к существенным негативным изменениям природной среды (загрязнение, сильноосмытые почвы, повышение уровня грунтовых вод до 20-25% от критического, накопление легкорастворимых солей, деградация пастбищ и т.д.). Сюда могут быть отнесены территории с геолого-разведочной деятельностью и т.п.;

техногенная нарушенность сильная, ведущая к полной дезинтеграции коренного ландшафта, которая наблюдается при селитебном и сплошном интенсивном сельскохозяйственном типе освоения, горно-промышленном и т.п. Негативные техногенные процессы, которые могут при этом возникнуть, - подтопление больших территорий, сильное засоление почв, весьма сильная их смытость (до полного уничтожения почвенных горизонтов) и т.п.

Пятый раздел легенды содержит характеристику степени нарушенности массивов пород активными природными и техногенными геологическими процессами и явлениями. Выделяются четыре категории пораженности: слабая (менее 5% площади массива), средняя (5-25%), сильная (25-50%), очень сильная (больше 50%). Приводится сводная формула интенсивности проявления опасных и неблагоприятных процессов с расшифровкой буквенных обозначений. При этом разделяются процессы, могущие представить непосредственную угрозу для жизни человека (обвалы, оползни и т.п.), и процессы, которые в основном могут только ухудшить условия его жизнедеятельности (эрозия, плоскостной смыв и т.п.).

Содержание эколого-геодинамической карты и способы отображения информации. Основной цветовой фон на карте отводится оценке эколого-геодинамического состояния массивов пород, каждый из которых обозначен арабскими цифрами. Зеленым цветом показываются массивы с удовлетворительным эколого-геодинамическим состоянием, на территории развития которых ситуация для жизнедеятельности человека находится в пределах нормы, розовым цветом - с условно удовлетворительным состоянием (зона экологического риска), красным - неудовлетворительным состоянием (зона экологического кризиса) и фиолетовым - массивы с катастрофическим состоянием (зона экологического бедствия). Такая оценка дается на карте на фоне структурно-тектонических и геоморфологических единиц первого и второго порядков, оконтуренных границами разного характера и обозначенных арабскими и римскими цифровыми знаками в соответствии с легендой. Комплексы пород, в пределах которых выработаны геоморфологические элементы второго порядка, показаны арабскими цифрами в кружках, а их расшифровка дается в легенде при характеристике этих геоморфологических элементов.

На фоне цвета на карте черной горизонтальной штриховкой разного типа показывается качество пород массива с точки зрения влияния на жизнь человека. Наложенные техногенные ландшафты даются ареальным крапом из разных значков. Такой способ показа выбран в связи с тем, что часто трудно определить границы (например, пастбища), если не выражен четко ореол связанных с ними техногенных изменений.

Косой синей штриховкой с правым наклоном показана степень техногенной нарушенности массивов пород. Косой красной штриховкой с левым наклоном дается интенсивность проявления ведущего опасного геологического процесса. Интенсивность всех процессов показывается в сводной формуле, где буквенными индексами в числителе даются катастрофические и опасные процессы, а в знаменателе - неблагоприятные. Цифры перед буквенным индексом соответствуют коэффициенту пораженности процессом в процентах. На составленной нами эколого-геодинамической карте из опасных процессов выделены оползни (P), обвалы и осыпи (O), карст (K); из неблагоприятных - дефляция (D), заболачивание (B), солифлюкция (Z), водная эрозия почв (E_a), овражная эрозия (E_o). При высокой интенсивности неблагоприятного процесса его буквенные обозначения даются красным цветом, при умеренной - черным. Для крупных речных долин даются в прямоугольных рамках максимальные значения показателей селевой активности: максимальные объемы выноса (в тыс. m^3) и вероятность повторяемости селей (в %). Среди прочих обозначений на карте, помимо разного рода границ, показаны крупные тектонические разломы, схематическое положение изолиний скоростей современных тектонических движений и др.

Карта эколого-геодинамического районирования масштаба 1:25 000 разработана Н.С.Красиловой при участии В.Т.Трофимова для одного из районов Таджикистана, расположенного на стыке двух крупных тектонических структур - Гиссаро-Алайского поднятия и Таджикской депрессии, разделенных крупным региональным разломом, к которому приурочено днище долины реки. Преобладающие геологические процессы - оползневые, эрозионные, сели, землетрясения, локально развиты обвально-осыпные и суффозионные процессы.

Следует подчеркнуть, что крупномасштабное картографирование в силу большей разрешающей способности позволяет проводить оценку с учетом локализации процесса и ясно выраженной индивидуальности его воздействия. На крупномасштабной карте можно не только детализировать ранжирование территории по особенностям инженерно-геологической обстановки, т.е. по условиям развития процессов, но и разделить каждый тип геологического процесса по характеру, интенсивности, по тем изменениям, которые они вызывают в абиотической компоненте эколого-геологической системы, и, соответственно, последствиям, которые эти изменения будут иметь для биоты и, в частности, для человека. Поэтому при составлении крупномасштабной карты оценки последствий состояния эколого-геодинамической обстановки территории для условий жизнедеятельности человека и состояния биоты недостаточно использовать в качестве критерия только площадной коэффициент пораженности территории геологическими про-

цессами. В связи с этим авторами были предложены и рассмотрены в качестве критериев оценки две группы показателей: показатели, оценивающие масштаб развития и интенсивность геологических процессов (см. табл. 37 и 38), и показатели, характеризующие возможные экологически неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафта и его литогенной основы в результате активно действующих геологических процессов. Кроме того, были рассмотрены биотические показатели, которые, отражая состояние биоты, служат, с одной стороны, индикаторами развития многих неблагоприятных геологических процессов, а, с другой, - отражают степень экологического неблагополучия ситуации (см. гл. 3 и 6).

Построение легенды крупномасштабной эколого-геодинамической карты. В общих чертах оно аналогично легенде среднемасштабной карты и включает пять разделов. *Первый* раздел, один из наиболее важных, содержит оценку состояния эколого-геологических условий территории, обусловленную развитием геологических процессов. Содержание этого раздела, критерии оценки представлены в табл. 74, а на карте оценка отражена цветом. Содержание этого раздела отличается от первого раздела легенды среднемасштабной карты большим количеством конкретных показателей, используемых в качестве критериев оценки класса эколого-геологических условий.

Во *втором* разделе легенды дается ранжирование территории на региональные, локальные и элементарные природно-территориальные системы (табл. 75), для которых и проводится оценка эколого-геологических условий. Для среднемасштабной карты ранжирование территории заканчивалось региональными структурами второго порядка (преимущественно мегасклоны и сочетание водоразделов с мегасклонами хребтов). На крупномасштабной карте региональные природно-территориальные системы (ПТС) выделяются трех порядков. Системы первого порядка обособляются по структурно-тектоническому признаку. На данном примере - это Южная часть Гиссаро-Алайского поднятия и Таджикская депрессия. Каждая из них отличается своим набором пород, характерными геоморфологическими особенностями и своеобразием развитых геологических процессов. Региональные системы второго порядка обособляются по геоморфологическим признакам ландшафта, им соответствуют мегасклоны выделенных структур, водораздельные пространства и выравненный эрозионно-аккумулятивный долинный комплекс. Системы третьего порядка выделяются по строению коренной основы и соотношению преобладающего залегания пород с уклонами рельефа. Последний признак имеет для данной территории крайне важное значение, так как определяет закономерности распространения и развития явлений, связанных с ведущим для данного района геологическим процессом - оползневым.

Локальные природно-территориальные системы обособляются по морфогенетическому признаку - системы водоразделов, склонов, аллювиальных террас с учетом уклонов поверхности (см. табл. 75). При необходимости могут быть выделены локальные структуры второго порядка, когда различные уклоны в пределах одного генетического типа склона определяют и различную активность геологических процессов. Разделение мегасклона на генетические типы склонов,

**Классы эколого-геологических условий и геодинамические критерии их выделения
на крупномасштабной карте**

Состояние эколого-геологических условий	Геодинамические критерии выделения классов состояния		Зона экологического состояния биоты
	Показатели, оценивающие масштаб развития и интенсивность геологических процессов	Показатели, характеризующие возможные экологически неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафта и его литогенной основы в результате активно-действующих геологических процессов	
Удовлетворительно	Опасные геологические процессы: пораженность менее 5%; действующие оползни объемом не более нескольких десятков кубических метров, глубины смещения до 5 м; разовый объем твердой составляющей селевой массы – первые тысячи кубических метров. Неблагоприятные геологические процессы: площадь активно-действующих осыпей до 25%; площадь вторично засоленных земель менее 5%, содержание легкорастворимых солей менее 0,01 г на 100 г грунта; слабый плоскостной смыв, глубина смытых почвенных горизонтов менее 0,1 горизонта А ₁ ; реализованная суммарная просадка лессовых пород менее 5 см	Природные качества литосферы в благоприятном состоянии с точки зрения выполнения ее экологических функций и практически не изменены антропогенной деятельностью. Возможны незначительные изменения на ограниченной площади территории (менее 5%): возможна локальная деформация литогенной основы ландшафта на глубину до 5 м; почвы несмытые и слабосмытые с содержанием гумуса не более 90% от природного; повышение уровня грунтовых вод не выше критического значения; незначительное увеличение содержания легкорастворимых солей	Норма
Условно удовлетворительное	Опасные геологические процессы: пораженность 5-25%; действующие оползни объемом 10 ² -10 ³ м ² , глубина смещения до 20 м; разовый объем твердой составляющей селевой массы первые десятки тысяч кубических метров. Неблагоприятные геологические процессы: площадь активно-действующих осыпей 25-50%; площадь вторично засоленных земель 5-25%; содержание легкорастворимых солей 0,1-0,4 г на 100 г грунта; растущие овраги менее 0,7 км/км ² ; плоскостной смыв привел к смывости почвенного горизонта А ₁ или 0,5 горизонта А; реализованная суммарная просадка лессовых пород 5-50 см; количество суффозионных форм 5-50 на 1 км ²	Природные качества литосферы в относительно неблагоприятном состоянии или заметно ухудшены хозяйственной деятельностью человека с развитием геологических процессов на площади до 25% с сохранением этой тенденции: деформация и смещение литогенной основы на глубину до 20 м; почвы слабо- и среднесмытые с содержанием гумуса 70-90% от природного; повышение УГВ до 25% от критического; накопление легкорастворимых солей до 0,6-1,0%; нарушение поверхностного стока из-за подпруживания завальными дамбами высотой до 5 м русел ручьев и рек с образованием прудов и озер; локальное перекрытие абиотическими образованиями мощностью до 10 см	Риск

1	2	3	4
Неудовлетворительно	<p>Опасные геологические процессы: пораженность 25-50%; действующие оползни объемом 104-105 м³, глубина смещения до 50 м; разовый объем твердой составляющей селсвой массы первые сотни тысяч кубических метров. Неблагоприятные геологические процессы: площадь вторично засоленных земель 20-50%; содержание легкорастворимых солей 0,4-0,8 г на 100 г грунта; растущие овраги менее 0,7-2,5 км/км²; сильный плоскостной срыв – срывость горизонта А₁ и частично горизонта В; реализованная суммарная просадка лессовых пород более 50 см; количество суффозионных форм более 50 на 1 км²</p>	<p>Природные качества литосферы в весьма неблагоприятном состоянии с точки зрения сохранения ее экологических функций или существенно ухудшены антропогенной деятельностью человека на значительной (до 50%) площади. Последствия геодинамических воздействий достигают пороговых значений и приводят к существенному устойчивому отрицательному изменению ландшафта на территории площадью до 50%, изменению характера рельефа, деформации и смещению литогенной основы ландшафта на глубину до 50 см, сильной срывости почв, повышению уровня грунтовых вод до 25-50% от критического, накоплению легкорастворимых солей до 1-3%, подпруживанию русел ручьев и речек завальными дамбами высотой до 10 м с опасностью прорыва образовавшихся озер, перекрытию абиотическими образованиями мощностью до 10-20 см</p>	Кризис
Катастрофическое	<p>Опасные геологические процессы: пораженность более 50%; действующие оползни объемом 10⁶-107 м³, глубина смещения более 50 м; разовый объем твердой составляющей селсвой массы – миллионы кубических метров. Неблагоприятные геологические процессы: площадь вторично засоленных земель более 50%; содержание легкорастворимых солей более 0,8 г на 100 г грунта; растущие овраги более 2,5 км/км²; интенсивный плоскостной срыв - срывость горизонтов А и В</p>	<p>Геодинамические воздействия превышают пороговые значения и приводят к глубоким и необратимым изменениям или разрушению ландшафта, потере его экологических функций на площади более 50%, деформации и смещению литогенной основы ландшафта на глубину более 50 м, весьма сильной срывости почв до полного уничтожения почвенных горизонтов, повышению уровня грунтовых вод свыше 50% от критического значения, перекрытию мощными абиотическими образованиями, возникновению навесных геологических процессов, усугубляющих негативность экологической ситуации</p>	Бедствие

составляющие единый склоновый парагенетический ландшафтный комплекс, позволяет учесть многие факторы, определяющие характер и интенсивность развития геологических процессов и соответственно экологические последствия. С одной стороны, это унаследованность развития процессов на склоне определенного генетического типа, которая обычно наблюдается, с другой, - влияние таких факторов, как высотная дифференциация почв, различный радиационный, водно-тепловой и воздушный режим склонов разных экспозиций, которые определяют условия формирования и разрушения почв и соответственно плотность растительного покрова, что опосредованно влияет на противозерозионную устойчивость склона. Кроме того, характер крутизны склона часто имеет определяющее значение не только для развития геологических процессов, но и влияет на количество атмосферных осадков, выпадающих на единицу площади (уменьшается с увеличением крутизны), и соотношение стока и инфильтрации, что, с одной стороны, обуславливает влажностный режим почв и, соответственно, состояние растительности, с другой, - влияет на условия аккумуляции поллютантов.

Элементарные природно-территориальные системы обособляются (см. табл. 75) по мощности четвертичных отложений (отсутствие четвертичных отложений, мощность четвертичных отложений менее 5; 5-10 и более 10 м) и по характеру обводненности четвертичных пород (до 5; 5-10 и более 10 м). Для каждой элементарной природно-территориальной системы дается геодинамическая характеристика, включающая изменение сейсмической балльности по данным микросейсмического районирования, особенности развития опасных и неблагоприятных геологических процессов и рекомендации по хозяйственному использованию территории, ограничению определенных видов деятельности, организации природно-охранных мероприятий. При характеристике процессов приводятся значения показателей, оценивающих масштаб развития и интенсивность геологических процессов, а также показатели, характеризующих возможные экологически неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафта, его литогенной основы в результате каждого активно действующего процесса (см. табл. 74).

В *третьем* разделе легенды выделены геодинамические зоны, обусловленные в данном случае активизацией новейших тектонических движений. Сюда относятся: краевой сейсмогенерирующий локально активный разлом с шириной зоны влияния до 15 км; альпийские локально активные сейсмогенные разрывы с шириной зоны влияния до нескольких десятков метров; зоны трещинно-разрывных сейсмодислокаций, представленные сейсмогенными дамбами и участками склонов, "разбитых" разноориентированными сейсмодислокациями.

Четвертый раздел легенды содержит характеристику измененности эколого-геологических условий территории вследствие техногенных воздействий. В него входит два подраздела: функциональное использование территории (природно-хозяйственных систем) и степень техногенной нарушенности. Функциональное использование территории соответствует подразделу "наложенные техногенные ландшафты" в легенде среднемасштабной карты. В содержательном плане эти понятия близки, но возможности крупного масштаба позволяют учесть многоуровневое

Фрагмент раздела II “Природно-территориальные системы”

Природно-территориальные				
Региональные			Локальные	
I порядка	II порядка	III порядка	I порядка	II порядка
Структурно-тектонические	Геоморфологические признаки ландшафта (мегасклоны, водоразделы)	Состав и строение пород коренной основы и соотношения их залегания с уклонами рельефа	Морфологический тип водоразделов, склонов, террас и т.п.	Уклоны поверхности меньше 5, 5-16, 17-30, 30-40, больше 40°
Южная часть Гиссаро-Алайского поднятия (фоновая сейсмичность 8-9 баллов)	I. Мегасклон поднятия южной экспозиции, высотой 900-1300 м, прямой формы, с преобладающим уклоном 30°; сложен архейскими кристаллическими сланцами, прорванными гранитоидами; преобладают примитивные щебенчатые почвы с пионерной и полынно-злаковой растительностью с малым проктивным покрытием	IA, IIA. Мегасклоны с преимущественным падением пород в склон IB, IIB. Мегасклоны с преимущественным падением пород к основанию склона. IV, IIV. Мегасклоны, залеженные вкост простираения пород	IA-I. Склоны средней крутизны (30°), прямой формы, осыпные, с небольшими обнажениями коренных пород; примитивные щебенчатые почвы под пионерными группировками травянистой растительности IB-2. Средней крутизны (до 26°) деловиальный склон сложен терригенно-карбонатно-глинистыми породами, перекрытыми лессовидными суглинками (dII-III), почвы горные коричневые карбонатные под злаково-разнотравной растительностью, сильноосмытые с проктивным покрытием 40% от нормы	
Таджикская депрессия (фоновая сейсмичность 7-8 баллов)	II. Мегасклон депрессии северной экспозиции высотой 900-1200 м, вогнутый, местами ступенчатый с уклонами поверхности до 26°, сложен мезозойскими терригенно-карбонатными глинистыми породами, перекрытыми четвертичными лессовидными суглинками; преобладают сероземы под травянистой, реже полукустарниковой и кустарниковой растительностью		IB-4. Средней крутизны оползневой голощевый склон в прирусловой части мегасклона, неровный, бугристый; сложен терригенно-карбонатно-глинистыми сильно нарушенными породами; почвы сероземы под ковыльно-типчаковой коренной растительностью со значительным количеством вторичных видов	

* В этой горизонтальной графе приведены признаки выделения природно-территориальных

легенды крупномасштабной эколого-геодинамической карты

(ландшафты)		Геодинамическая характеристика природно-территориальных систем		Рескомсндации
Элементарные		Изменение сейсмической балльности относительно фоновой	Характер геологических процессов	
I порядка	II порядка			
Мощность четвертичных отложений: 0; меньше 5; 5-10; больше 10 м	Особенности характера обводненности пород: до 5; 5-10; больше 10 м	Увеличивается на 0,5; 1; 2 балла; уменьшается на 0,5; 1 балл	Особенности развития опасных и неблагоприятных геологических процессов	По хозяйственному использованию территории, организации природоохранных мероприятий
Маломощные осыпные отложения на коренных	Сдренированные, УГВ более 10 м	-	Склоны близки к состоянию устойчивого равновесия, слабое развитие осыпных процессов, на локальных участках (до 5%) наблюдаются камнепады	
Суглинки лессовидные (мощность до 5 м), слабопродачные, подстилаются коренными полускальными породами	УГВ 1-5 м, обводнены по секущему сейсмоактивному разлому	+2	Интенсивное развитие плоскостного смыва (смытия горизонта А), растущие овраги (2,2 км/км ²), трещины отрыва и небольшие оползни в лессовых породах (менее 5%). Реализованная суммарная просадка в лессах 5-15 см	
Блоки мощностью до 10 м, глыбы до 2-3 м, щебень, дресва песчанников, алевролитов, мергелей, глин с коричнево-серыми суглинками (25-35%). Мощность до 20 м	УГВ более 5 м	-	Активный оползень объемом 4,8 млн м ³ с деформацией и смещением литогенной основы на глубину до 20 м; степень его активности 0,18 – медленные подвижки небольших блоков и маломощных оползней-потоков	Ограничение усадки поливных вод с расположенных выше орошаемых полей; устройство дренажей; проведение противооползневых мероприятий

систем разных уровней и порядков.

использование территории для хозяйственной деятельности человека, например, показать от обширных пастбищ горно-луговых угодий до конкретной фермы, вблизи которой обычно особенно сильная нарушенность почвенного покрова до полного уничтожения растительности и интенсивного загрязнения. Поэтому на крупномасштабных картах удобнее пользоваться понятием "функциональное использование территории", учитывая и разработанность классификаций и систематики территорий по этому признаку с выделением типов, подтипов, видов, родов.

На карте выделены типы территории сельскохозяйственного, селитебного и транспортного использования с выделением соответственно подтипов: в сельскохозяйственном - ирригационно-земледельческого (пахотного орошаемого с регулируемым поливом и пахотного орошаемого с нерегулируемым поливом), земледельческого (сады), животноводческого (пастбищного горно-лугового, лугосенокосного); в селитебном - сельскохозяйственные поселения (кишлаки); в транспортном - автомобильные дороги (с твердым покрытием, грунтовые).

По степени техногенной **нарушенности обособлены** четыре типа территорий:

техногенная нарушенность практически отсутствует - на территориях, не используемых для хозяйственной деятельности человека из-за неблагоприятных природных условий, на слабоосвоенных или охраняемых территориях;

техногенная нарушенность ограниченная, обусловленная или поверхностной деформацией литогенной основы из-за длительного чрезмерного выпаса скота (выражается в выбитости пастбища, разрыве дернины, уменьшении проективного покрытия), или реформацией литогенной основы глубиной до 5 м за счет вспашки при обработке земли, создания арычной системы, планировки склонов под пашни;

техногенная нарушенность значительная, когда деформация литогенной основы прослеживается на глубину более 5 или до 5 м за счет значительной планировки склонов под пашни со срезкой лессовидных суглинков до 3 м, развитием эрозионных процессов, засоления, мелких оползней-потоков из-за утечки вод при нерегулируемом поливе;

сильная техногенная нарушенность, ведущая к полной детериорации коренного ландшафта, которая наблюдается на данной территории в пределах кишлаков.

Пятый раздел легенды содержит характеристику степени нарушенности массивов пород активными природными и антропогенными геологическими процессами и явлениями с выделением четырех категорий: слабая, средняя, сильная и очень сильная (соответствующих в общих чертах четырем экологическим зонам - нормы, риска, кризиса, бедствия). Категория нарушенности определяется по ведущему процессу на основании информации, содержащейся во втором разделе легенды о характере геологических процессов в пределах каждой элементарной природно-территориальной системы. При этом в качестве классификационных используются показатели, оценивающие масштаб развития и интенсивность геологических процессов, приведенных в качестве геодинамических критериев для четырех выделенных классов эколого-геологических условий в первом разделе легенды (см. табл. 75). В этом же разделе дается перечень геологических процессов

и явлений, развитых на территории и соответствующие им значки для отображения на карте.

Способы отображения информации на карте. Цветовой фон карты отдан отображению класса эколого-геологических условий: зеленым цветом показывается класс удовлетворительного состояния, коррелирующий с зоной экологической нормы; розовым цветом - класс условно-удовлетворительного состояния, коррелирующий с зоной экологического риска; красным - класс неудовлетворительного состояния, коррелирующий с зоной экологического кризиса и фиолетовым - класс катастрофического состояния, коррелирующий с зоной экологического бедствия. Эта оценка дается на фоне выделенных разными границами природно-территориальных систем (региональных, локальных и элементарных), обозначенных сочетанием римских и арабских цифр и буквенных обозначений. Разрешающая способность крупномасштабной карты позволяет показать породы литогенной основы геологическими индексами, хотя можно использовать и цифровые обозначения в кружках (аналогично отображению их на среднемасштабной карте). На карту выделены геодинамические зоны. Условными знаками черного цвета дается характер функционального использования территории в соответствии с четвертым разделом легенды.

Степень техногенной нарушенности показывается синей штриховкой разной плотности с правым уклоном. Степень нарушенности ведущими активными природными и техногенными геологическими процессами отображается красной штриховкой с левым уклоном. Кроме того, крупный масштаб карты позволяет показать красными значками явления, связанные с геологическими процессами.

Эколого-геохимические карты

Содержание эколого-геохимической карты определяется двумя факторами - выбором геологической основы и выбором и ранжированием критериев оценки эколого-геохимической обстановки территории либо массива горных пород. Выбор геологической основы определяется функциональной спецификой картируемых компонентов литосферы и масштабом карты. Понятно, что для эколого-геохимических карт это будут факторы, учитывающие генезис и морфологию геохимических полей и аномалий, обладающих в том числе и патогенными свойствами. Для природных аномалий это будут породы, включающие повышенные концентрации элементов, а для техногенных - сорбционные и окислительно-восстановительные характеристики почв и пород зоны аэрации. Выбор критериев оценки обусловлен учетом путей попадания токсикантов в организм человека и включает в себя как собственно геохимические характеристики, так и биохимические и медико-биологические.

Надо сказать, что *опубликованных или изданных карт, полностью соответствующих изложенным выше требованиям, практически нет.* Но есть многочисленные карты, близкие по содержанию или отражающие один из факторов, подлежащих картированию. В этом плане наибольший интерес представляет Атлас об-

зорных геолого-геохимических и эколого-геологических карт Российской Федерации (масштаба 1:5 000 000), составленный ведущими геологическими институтами страны. Из него мы остановимся только на двух картах: "Ландшафтной эколого-геохимической карте России" и карте "Геохимической специализации структурно-формационных комплексов России".

Легенда *Ландшафтной эколого-геохимической карты России масштаба 1:5 000 000* состоит из четырех блоков. *Первый* блок легенды представлен в матричной форме: по горизонтали показаны - относительная скорость разложения вещества, режим биологического круговорота и окислительно-восстановительные условия в почвах, а по вертикали - обстановки водной миграции, водный режим почв, сорбирующая способность и механический состав почв. На пересечении строк и столбцов выделено 42 группы (обозначенные номерами от 1 до 42), каждая из которых имеет определенные величины потенциала очищения от органических и минеральных загрязняющих веществ. По сочетанию потенциалов эти группы объединены в 15 градаций, которые и определяют цветовую закрашку карты.

Второй блок посвящен ландшафтному районированию территории России, выделены следующие: Евразийская полярная, Европейско-Западно-Сибирская таежная, Дальневосточная таежная лесная и лесная, полупустынная, субтропическая влажно-лесная области. Отдельно выделены ландшафты долин крупных рек, пересекающих границы зон. Каждой ландшафтной зоне соответствует одна или несколько ландшафтных подзон равнинных территорий (обозначаются прописными буквами русского алфавита) и провинции горных стран (обозначаются строчными буквами русского алфавита). В данном блоке легенды приводится также почвенно-геохимическая характеристика ландшафтных выделов, характеризующихся определенным типом почв, обстановкой водной миграции и биологического круговорота. Данная информация на карте отражена в виде дробей. Таким образом, данный блок отражает основные факторы, определяющие условия миграции загрязняющих веществ, и может служить основой для разделения территории по условиям миграции продуктов техногенеза.

Третий блок легенды включает в себя группировку ландшафтов по энергии водообмена. Здесь основная роль принадлежит дифференциации территории по рельефу, обуславливающему энергию водотоков, миграцию вещества во взвешенном и растворенном состоянии, скорость водообмена в ландшафте и окислительно-восстановительные процессы. Группы ландшафтов, различающихся энергией водообмена, обозначены римскими цифрами: I - горные сильно расчлененные с энергией водообмена и преобладанием механической денудации над химической; II - ландшафты возвышенных расчлененных равнин со средним водообменом, с различным соотношением между механической и химической денудацией; III - ландшафты низменных, слабо расчлененных равнин с медленным водообменом и преобладанием химической денудации над механической; IV — транзитные ландшафты долин крупных рек с различной интенсивностью водообмена.

Четвертый блок легенды посвящен группировке ландшафтов по типу литогенной основы. На карте они обозначены латинскими буквами. Среди них обособ-

лены орто- и параэлювиальные ландшафты на каменистых и щебнисто мелкозернистых продуктах выветривания изверженных, метаморфических и литифицированных осадочных пород; параэлювиальные ландшафты на продуктах выветривания слабо литифицированных осадочных пород; неоэлювиальные и супераквальные ландшафты на мелкозернистых отложениях, преимущественно аллохтонных.

Как видно из данной характеристики, эту карту не следует называть "эколого-геохимической", так как на ней нет оценки влияния геохимических параметров на биоту. По существу на карте отображена лишь ландшафтно-геохимическая основа эколого-геохимических карт.

Карта геохимической специализации структурно-формационных комплексов России, обзорная по масштабу. Она имеет сложно построенную легенду. Первый ее раздел представлен геолого-геохимической информацией, в основе которой заложен формационный принцип, базирующийся на приуроченности повышенных содержаний отдельных химических элементов и образуемых ими групп к определенным геологическим комплексам. Тип геохимической специализации показан на карте цветом. Структура геохимических полей отражена штриховкой. Для выделенных на карте структурно-формационных комплексов были рассчитаны содержания 41 элемента всех геохимических типов. Был осуществлен расчет средних содержаний с учетом мощностей и состава геологических комплексов. В каждой выборке отражена распространенность химических элементов (в кларках концентраций) в отношении трех уровней: менее 1 - ниже кларкового уровня; 1-2,5 - кларковый уровень; более 2,5 - выше кларкового уровня. По тенденции к концентрации (т.е. с учетом 2-го и 3-го уровней) выделены 70 групп геохимических ассоциаций, которые на основании классификации В.Гольдшмидта объединены в 12 геохимических типов (Л - литофилы, Х - халькофилы и т.д.). Для каждого геохимического типа определены свои геохимические ассоциации. В легенде дана эколого-геохимическая характеристика элементов исходя из представления об их токсичности, распространенности и подвижности в современных условиях и гипергенной обстановке. В легенде отражены так называемые прозрачные геохимические **зоны**.

На врезке к карте показано геохимическое районирование территории России. Выделены наиболее крупные **геохимические** подразделения в ранге геохимических провинций, областей и зон. Геохимическим структурам присвоены географические названия. Всего выделено 12 геохимических провинций: Восточно-Европейская, Скифская, Карело-Кольская, Уральская, Западно-Сибирская, Приенисейская, Саяно-Алтайская, Иркутско-Якутская, Тунгусская, Таймырская, Верхоянская, Байкало-Алданская, Дальневосточная, Колымская, Чукотская. Все выделенные провинции обладают своими особенностями. Так, в пределах древних платформ (Восточно-Европейская, Тунгусская и другие геохимические провинции и области) хорошо проявлена линейная и изометричная зональность.

Эколого-геохимическое районирование на карте выполнено с учетом токсичности химических элементов, с выделением потенциально наиболее опасных

в эколого-геохимическом отношении эколого-геохимических районов, зон, провинций. Они отражены на мелкомасштабной врезке к карте.

В пояснительной записке приведена схема распространения эндемических заболеваний, на которой показаны данные об отдельных заболеваниях, обусловленных избытком или дефицитом некоторых химических элементов. Наиболее типичные из них связаны с селеном, молибденом, фтором, никелем и другими.

Таким образом, легенда к основной карте и наличие дополнительной информации в пояснительной записке дает полное право рассматривать данную карту как базовую для построения на ее основе эколого-геохимических карт, отвечающих принятым нами концептуальным основам эколого-геологического картографирования.

Мелко- и среднемасштабных эколого-геохимических карт существует мало. Они составлены на разных принципах и лишь на некоторых из них реализованы предложенные ранее позиции. *Карта эколого-геохимических условий Федоровского опорного участка (Тюменская область) масштаба 1:100 000* составлена Н.С.Козловым, Ю.Н.Никитиным, Л.Н.Подсосовой в 1999 г.

В первом разделе легенды этой карты приведена оценка геохимических характеристик ландшафтов с использованием геохимической формулы ландшафта. В числителе указаны элементы, которые имеют коэффициенты концентрации ниже 1, а в знаменателе - те элементы, коэффициент концентрации которых выше 1. Перед формулой приводятся типоморфные элементы, контролирующие содержание элементов в ландшафте, определяющие класс водной миграции. Всего выделено пять групп таких территорий, отображенных на карте цветом.

Во втором разделе легенды систематизированы данные об уровне аномального содержания химических элементов в сравнении с фоновым. По данным критериям территория ранжирована на следующие категории: 1) фоновые территории; 2) умеренные аномалии, имеющие содержание элементов от 3 до 10 фоновых значений; 3) средние аномалии, содержание элементов в которых колеблется от 10 до 50 фоновых значений и 4) высокие аномалии (превышающие порог содержания токсикантов более чем в 50 раз). Данная характеристика территории показана на карте крапом.

Третий раздел данных отражает величину суммарного показателя загрязнения почв тяжелыми металлами (Z_c) в соответствии с критериями, разработанными ИМГРЭ. Выделено три категории: фоновые – $Z_c < 16$; $Z_c = 16-32$; $Z_c = 32-64$. По сути, это и есть оценочный блок карты, однако авторы не вынесли его в основную часть легенды. Подчеркнем, что территории, отвечающие этим трем категориям содержания тяжелых металлов, следует охарактеризовать как таксоны с удовлетворительным, условно удовлетворительным и неудовлетворительным состоянием эколого-геохимических условий соответственно. "Наложение" этих оценочных категорий на топографическую основу позволило бы составить карту эколого-геохимического районирования Федоровского опорного участка.

Карта эколого-геохимических условий Тырныаузского района масштаба 1:100 000 составлена Т.А.Барабошкиной и Д.Г.Зилингом в 1999 г.

Данный район характеризуется сложной геолого-геоморфологической структурой и активной механической, водной и воздушной миграцией вещества, инициированными разработкой месторождения и технологическим циклом на комбинате. Техногенные потоки имеют полиэлементный состав: висмут, молибден, вольфрам, в незначительных количествах олово, сурьма, мышьяк. Облако пылевых выпадений локализуется в долине, на склоне которой находится карьер, и не выходит за пределы водораздела. Согласно данным анализа снеговых выпадений, пылевое облако целиком покрывает поселок, расположенный в 1-2 км от карьера. Гидрохимический техногенный ореол в водах р.Баксан фиксируется на локальных участках ниже Былымского хвостохранилища и в местах сброса рудничных вод.

Легенда этой карты включает два раздела. В *первом* из них систематизированы обособленные территориальные комплексы. Они выделены по схеме: формационные комплексы пород → тип ландшафта → подтип ландшафта с характеристикой таксонов первого и третьего уровней по содержанию характерных для него ассоциаций элементов (тяжелых металлов), а для второго - по связи таксонов с классами водной миграции. Эта часть легенды выполнена в форме таблицы (табл. 76).

Второй раздел легенды включает в себя значковые обозначения объектов техногенной нагрузки и точки (площадки) комплексного опробования с количественной характеристикой полученных результатов по пяти параметрам, связанным с литосферой и растительностью: дочетвертичные потоки, почвы, снеговой покров, травы и лишайники. На карте эти данные отображены в виде дроби, в числителе которой приводится характеристика содержания тяжелых металлов (Z_c) в почвах и снеговом покрове, в знаменателе - та же характеристика для горных пород, а рядом - содержание элементов в травах и лишайниках. Для первых оно характеризуется через показатель БХА- биогеохимическую активность вида, равную сумме коэффициентов биологического поглощения отдельных микроэлементов (последние рассчитываются как отношение содержания элементов в золе растений к его содержанию в горной породе), для вторых - через коэффициент накопления элементов, представляющего собой сумму отношений содержания химического элемента в объекте к его содержанию в литосфере, т.е. сумму кларков концентраций.

Карта эколого-геохимического районирования территории Тырнаузского района масштаба 1:100 000 разработана Т.А.Барабошкиной и Д.Г.Зилингом по материалам И.А.Авессаломовой, А.В.Хорошева, В.В.Ермакова и Ю.А.Саета.

Основным принципом эколого-геохимического районирования явилось выделение ареолов техногенного загрязнения компонентов литосферы (пород, почвенного горизонта, донных осадков), однородных по интенсивности загрязнения и связанных с ними воздействиями на биотические компоненты экосистемы, включая человека. Эти территориальные единицы районирования позволили обособить территории, отличающиеся по уровню загрязнения тяжелыми металлами и адекватным ему состоянием компонентов экосистем, а в опосредованном варианте - заболеваемостью животных и человека.

Основными критериями выделения территориальных единиц эколого-геохимического районирования являлись следующие критерии оценки: суммарный по-

Раздел I. “Территориальные таксоны районирования” легенды карты эколого-геохимических условий Тырныаузского района

Структура	Формационный комплекс пород (индекс)	Ассоциация элементов в породах	Тип ландшафта	Класс водной миграции	Подтип ландшафтов	Ассоциация элементов в травянистых растениях	Буквенно-цифровой код таксона районирования	Цифровой индекс на карте
Мегантиклинорий Большого Кавказа	Метаморфические образования протерозойского возраста (I)	Bi, Mo, W, Sb	Горно-луговой (1)	Н-Са	Альпийские (а)	B, Zn, Mn, Cu	I _{1a}	1
			Скально-примитивный (2)		Субальпийские (с)	Mo, Ag, Cu, Zn, Mn	I _{1c}	2
					Альпийские (а)	B, Zn, Mn, Cu	I _{2a}	3
					Горно-лесной (3)	Хвойные (х)	B, Mo, Cu, Zn	I _{3x}
			Широколиственные (ш)		B, Mo, Cu,Pb, Ba, Mn, Ag	I _{3ш}	5	
	Гранитоиды палеозойского интрузивного комплекса (II)	Mo, W, Bi, As	Горно-луговой (1)	Субальпийские (с)	B, Mo, Ag, Cu, Zn, Mn	II _{1c}	6	
			Альпийские (а)	Mo, Ag, Cu, Zn, Mn	II _{1a}	7		
		Горно-лесной (2)	Хвойные (х)	B, Mo, Cu, Zn	II _{2x}	8		
	Терригенно-вулканогенные отложения (III)	То же	Горно-луговой (1)	Субальпийские (с)	Mo, Ag, Cu, Zn, Mn	III _{1c}	9	
	Четвертичные отложения (природные) (IV)	Mo, W, As	Горно-луговой (1)	Са	Лугово-степные (л)	Mo, B, Ag, Cu, Zn	IV _{1л}	10
	Техногенно трансформированные грунты (V)	Mo, W, Bi, Sn	Техногенный (1)	Н-Са	Трансформированные фитоценозы (т)	Mo, B, W, Cu, Pb	V _{1т}	11

казатель концентрации токсичных элементов (Z_c) в породах, почвах, донных осадках, снеговом покрове, рН в подземных и поверхностных водах; показатель биохимической активности (БХА) в золе растений с акцентом на биогеохимические ореолы молибдена, а также соотношение концентраций Mo и Cu в травах и степень нарушения их естественного баланса, данные по эндемичным заболеваниям.

Традиционная геологическая основа в качестве комплекса пород с определенными геохимическими ассоциациями элементов и типов почв или ландшафтных зон использовалась только за границей ореола техногенного загрязнения "подавившего" все природные геохимические аномалии.

Легенда этой карты состоит из трех разделов. В *первом* из них, составленном в табличной форме, приведена оценка состояния эколого-геохимических условий (табл. 77). В ней на основании указанных показателей выделено три состояния эколого-геохимических условий территории: удовлетворительное, условно удовлетворительное, неудовлетворительное. Им соответствуют зоны экологической нормы, риска и кризиса.

Класс удовлетворительного состояния (фоновое состояние) эколого-геохимических условий включает территории, удаленные от комбината на 10 км, где природные геохимические аномалии и техногенное загрязнение практически отсутствуют. Это зона слабого геохимического воздействия.

Второй - класс условно удовлетворительного состояния эколого-геохимических условий включает в себя как природные геохимические аномалии, так и территории, подвергшиеся умеренному техногенному загрязнению. Они характеризуются модулем техногенной нагрузки от 1 до 5 г/см² сут, содержанием Mo в золе трав от 0,5 до 10 мг/кг при соотношении $Mo < Cu$, коэффициентом накопления микроэлементов в накипных лишайниках от 5 до 20, значением БХА от 30 до 100 и коэффициентом накопления микроэлементов в донных осадках от 10 до 30, $Z_c = 16 - 32$. Возможность возникновения молибденоза у скота и опосредованно у человека средняя. На запыленных участках здесь возможны отдельные случаи заболеваниями пылевым бронхитом и пневмокониозом. Это зона, где содержание Mo в молоке и шерсти овец подлежит постоянному контролю.

Третья территория - зона кризиса обладает сложной структурой за счет включения небольших площадей с весьма высоким уровнем загрязнения (выше значений, принятых для зоны кризиса). Это участки вблизи карьеров, горно-обогательных фабрик, хвостохранилищ. Площадные параметры таких участков можно оценить в первые сотни метров от источника загрязнения. В целом зона выделена по преобладанию территорий с высоким уровнем техногенного загрязнения компонентов природной среды, сильным геохимическим воздействием техногенно преобразованной литосферы на биоту. Она характеризуется модулем техногенной нагрузки от 6 до 16, содержанием Mo в золе трав от 100 до 200 (свыше 200 ближе к зоне бедствия) при соотношении $Mo > Cu$, коэффициентом накопления микроэлементов в накипных лишайниках от 20 до 50, значением БХА от 100 до 300 (свыше 300 ближе к зоне бедствия), коэффициентом накопления микроэлементов в донных осадках более 10, $Z_c = 32 - 128$. Это зона с высокой степенью вероятности

**Раздел II. “Оценка состояния эколого-геологических условий литосферы по абиотическим и биотическим критериям” легенды карты
эколого-геохимического районирования территории Тырныаузского района**

Состояние эколого- геохими- ческих условий	Компонснт эколого-геологической системы										Зона со- стояния экосистем	
	Абиотический				Биотический							
	Снеговой покров	Донные отложе- ния	Почвы, породы	Суммарно	Наземные растительные сообщества				Животные	Человек		
					Суммарное содержание токсичных элементов, Z_c		Превыше- ние над ПДК, класс опасности элемента	БХА				Концентрация микроэлементов в укосах и растительных нормах, мг/кг сухого вещества
Мо		Cu										
Удовлет- воритель- нос	64	<10	<16	От 2 фо- новых до I (I-III)	<30	1-3		5-20		Низкий, на уровне фоновых	Низкий, ми- нимальная частота встречаемо- сти; функ- циональных отклонений нет	Норма
Условно удовлет- воритель- нос	64-128	10-30	16-32	От I до K_{max} (III)	30-100	0,5-1,0*	3-10**	2-20*	20-80**	Увеличе- ние забо- левасмо- сти	Увеличение общей забо- левасмости (ОВ)	Риск
Неудов- летвори- тельно	128-256	30-100	32-128	От I до K_{max} (II) болсс K_{max} (III)	100-300	0,2-0,5	10-50	0,5-2,0	80-100	Рост забо- левасмо- сти	Увеличение ОЗ, числа часто боле- ющих***	Кризис

*Недостаток элемента.

**Избыток элемента.

***С хроническими заболеваниями и нарушением функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

заболевания молибденозисом, профессиональными легочными заболеваниями населения.

Пребывание сельскохозяйственных животных на пастбищах требует строгой регламентации.

Во *втором* разделе легенды, по существу представляющем геохимико-геологическую основу карты, систематизированы обособленные территориальные комплексы. Эта часть легенды выполнена точно так же, как первый раздел легенды Карты эколого-геохимических условий Тырныаузского района (см. табл. 76).

В *третьем* разделе легенды сгруппированы условные знаки технических объектов, границ разных типов и расшифровка значения буквенно-цифровых индексов, приведенных на карте и во втором разделе легенды (см. табл. 76).

Карта эколого-геохимического районирования, выполненная на основе этой легенды, представляет собой карту так называемого "семафорного" типа. Массивы класса удовлетворительного состояния эколого-геохимических условий показаны зеленым цветом, условно удовлетворительного - желтым, а неудовлетворительного - розовым. Типы всех выделенных таксонов отграничены линейными границами черного цвета. Этим же цветом в виде условных знаков показана и другая информация, систематизированная в легенде.

В качестве примера крупномасштабных карт рассмотрим *Карту экологического состояния Юго-Восточного административного округа г.Москвы масштаба 1:10 000*. Она составлена коллективом ИМГРЭ совместно с медиками по программе "Экоскан" под руководством Л.Н.Гинзбурга.

Эта карта построена на основе компьютерной обработки комплекта карт: эколого-геохимической почвенной, запыленности снежного покрова, загрязнения атмосферного воздуха, распространенности врожденных аномалий и пороков развития детского населения (использовался также аналитический материал по биогеохимическому исследованию растительности; анализы биосубстратов). Синтез полученной информации по территории округа был осуществлен на основе пространственного варьирования количественных и качественных показателей состояния среды с учетом информации о заболеваемости детского населения эколого-зависимыми патологиями. Условно для территории округа выделено пять градаций оценки экологической обстановки: крайне тяжелое, тяжелое, умеренно неблагоприятное, условно неблагоприятное, условно благоприятное.

Зона крайне тяжелой экологической обстановки характеризуется высокими показателями загрязнения воздуха (более чем в 10 раз превышает ПДК); токсичные компоненты в почвах в тысячи раз превышают фоновые концентрации, растительность деградирована, максимальный уровень заболевания детского населения экологически обусловленными формами патологии.

В зоне тяжелой экологической обстановки почвы высокотоксичные, сильно деградированы, воздушный бассейн загрязнен окисью азота, аммиаком, окисью углерода, ксилолом, фенолом. Повышена заболеваемость детей отдельными эколого-зависимыми формами патологии.

В пределах зоны умеренно неблагоприятной экологической обстановки почвы характеризуются средним уровнем деградации и достаточно высокой степенью токсичности. Отмечается средний уровень накопления токсикантов в воздухе. В волосах детей наблюдаются повышенные содержания свинца, бериллия, цинка, стронция, никеля, кобальта.

Зона условно неблагоприятного экологического состояния характеризуется умеренно токсичными почвами. Эти территории соответствуют областям неустойчивого загрязнения. Почвы данной зоны способны к самовосстановлению после прекращения поступления химотоксикантов. Загрязнение атмосферного воздуха незначительное.

В пределах зоны условно благоприятной экологической обстановки характеристики почв в пределах фоновых, концентрации токсикантов в воздухе на уровне ПДК. Однако в волосах детей регистрируются повышенные концентрации основных металлов-токсикантов.

Следует констатировать, что эта карта наиболее близка по своему содержанию к эколого-геохимическим картам в нашем понимании. Она содержит оценку экологической обстановки территории. О геологической основе данной карты судить трудно: вероятно, авторы пошли по пути отображения установленных геохимических аномалий по разным компонентам природной обстановки с учетом заболеваемости детского населения. Для крупномасштабных карт при наличии необходимой аналитической информации такой подход вполне правомерен.

Эколого-геологические карты

На таких картах стремятся отобразить особенности эколого-геологических условий, обусловленные реализацией всей совокупности факторов, их определяющих. Таких карт пока немного - это лишь первые опыты в важном направлении эколого-геологического картографирования.

Карта оценки экологического состояния геологической среды России масштаба 1:5 000 000 создана в 1996 г. большим коллективом геологов под редакцией В.П.Орлова, Э.К.Буренкова, Г.С.Вартаняна. Карта отображает экологическое состояние геологической среды, обусловленное воздействием двух групп факторов - природных и техногенных, переданных разной системой условных знаков. Авторы подчеркнули, что выделение природного блока в определенной степени условно, так как антропогенное влияние на геологическую среду приобрело глобальные масштабы. Нельзя исключить того, что даже в практически ненаселенных районах или заповедниках геологическая среда в той или иной степени нарушена за счет глобального загрязнения атмосферы, трансформации составляющих радиационного баланса и других причин. При разработке легенды в качестве основного постулата принималось то, что природные факторы являются фоном, на который накладываются техногенные возмущения, а реакция геологической среды на них в значительной степени определяется естественными геологическими, гидрогеологическими, геохимическими и другими условиями территорий.

Характеристика **природных факторов** и оценка их влияния на эколого-геологические условия систематизированы в первом блоке легенды. В *первом* ее разделе, оформленном в виде таблицы-матрицы, приводится поэлементная и интегральная оценка природных факторов на экологическое состояние геологической среды по системам бассейнов безнапорных и напорных вод и группам бассейнов регионального стока безнапорно-субнапорных вод. Бассейны выделяются в соответствии со схемой гидрогеологического районирования, разработанной Л.А.Островским, Б.Е.Антыпко, Т.А.Конюховой. Обособляются регионы, приуроченные к гидрогеологическим структурам континентальных платформ и складчатых поясов, в пределах которых арабскими цифрами показываются области, группы бассейнов регионального стока (крупные положительные морфоструктуры, ограниченные долинами крупных и средних рек), а цифровыми индексами - подобласти, бассейны регионального стока.

На территории подобластей экологическое состояние геологической среды характеризуют следующими природными показателями:

- потенциалом самоочищения от загрязнения минеральными веществами;
- гидрогеохимической зональностью;
- наличием региональных депонирующих барьеров (защищенностью подземных вод от загрязнения);
- пораженностью территории экзогенными геологическими процессами;
- неотектонической активностью и предрасположенностью геологической среды к интенсификации экзогенных геологических процессов.

Потенциал самоочищения ландшафтов от загрязнения минеральными веществами определяется условиями миграции этих веществ, которые в значительной степени контролируются ландшафтными зональностью и поясностью. Относительные величины потенциала ранжируются по пяти градациям - от низкого до очень высокого. Каждая градация характеризуется оценочным баллом от 1 (низкий потенциал) до 5 (очень высокий потенциал). Наиболее интенсивно минеральные вещества (прежде всего тяжелые металлы) мигрируют в кислой среде (в почвах с промывным водным режимом), которая преобладает в ландшафтах тундр, лесотундр и северной тайги. Здесь потенциал самоочищения наиболее высокий. По мере продвижения к югу рН природных вод постепенно повышается, условия водной миграции тяжелых металлов ухудшаются. Потенциал самоочищения достигает минимальных значений в ландшафтах пустынь и полупустынь.

Гидрогеохимическая зональность определяет направленность и интенсивность водной миграции компонентов и распространение гидрогеохимических провинций с повышенными концентрациями ряда элементов. Она оценивается в интервале 1-5 баллов. Минимальные балльные оценки, характеризующие наиболее благоприятную экогеологическую обстановку, даны подзоне неустойчивого равновесия с преобладанием процессов выщелачивания; далее по балльной оценке следует подзона неустойчивого равновесия с преобладанием континентального засоления и только после нее - зона выщелачивания. Зона континентального засоления и криолитозона отличаются наименьшей подвижностью основных токсич-

ных веществ и их аккумуляцией в **геологической** среде, поэтому они оценены как наименее благоприятные по рассматриваемым показателям (оценка 4 балла).

Под региональными депонирующими барьерами авторы карты понимают наличие в зоне аэрации горизонтов и прослоев, препятствующих проникновению загрязняющих веществ до уровня подземных вод. Этот показатель характеризует степень защищенности подземных вод от поступления загрязнения сверху: в районах, где зона аэрации сложена песками, супесями, легкими суглинками они относятся к незащищенным (3 балла); на площадях распространения лессов и лессовидных пород - считаются слабозащищенными; в районах, где четвертичный покров представлен преимущественно тяжелыми суглинками и глинами - характеризуются как защищенные (1 балл).

Степень пораженности территории экзогенными геологическими процессами (ЭГП) является показателем, ориентировочно позволяющим оценить их опасность для человека, особенно в части возможного воздействия на здания и сооружения. Площадная пораженность территории ЭГП считается слабой (1 балл), когда ее величина менее 5%, средней (2 балла) - при величинах от 5 до 25% и высокой (3 балла) при величинах свыше 25%.

Предрасположенность территории к проявлению ЭГП и их (территорий) тектоническая активность в значительной степени взаимосвязаны. Выделяются три степени предрасположенности территории по этому фактору: слабая, средняя и высокая, характеризующиеся оценочными баллами от 1 до 3.

На основе этих групп показателей в нижней части таблицы выводится "интегральная оценка естественного экологического состояния геологической среды". Она приводится как среднее арифметическое баллов, характеризующих потенциал самоочищения, гидрогеохимические зоны, защищенность подземных вод, пораженность территории экзогенными геологическими процессами и предрасположенность к их интенсификации. Выделяется четыре градации экологического состояния геологической среды (в баллах): благоприятное (1,00-1,59); условно-благоприятное (1,60-2,39); условно неблагоприятное (2,40-3,19); неблагоприятное (свыше 3,20). На карте эти категории показаны фоновой закраской зеленого, желтого, светло-розоватого и фиолетового цветов соответственно. Для каждой подобласти на карте и в легенде фиолетовым цветом приведен цифровой код.

Второй раздел первого блока легенды носит название "Распространение природных токсичных элементов". В первой его части систематизированы условные знаки для показа территории с аномальными концентрациями опасных микрокомпонентов - тяжелых нерадиоактивных металлов, причем выделяются четыре градации уровня опасности: высокий, средний, низкий, а также отсутствие токсичных веществ. Во второй части этого раздела приводятся условные знаки показа областей развития горных пород, подземных и поверхностных вод по таким категориям: с повышенным содержанием радиоактивных металлов; радона; радиоактивных металлов и радона, а также с отсутствием радиоактивных металлов и радона. Вся эта информация передана на карте системой штриховых условных знаков коричневого цвета.

В *третьем* разделе первого блока легенды систематизированы типы ландшафтов, показанные на карте системой цветных буквенных индексов. Выделено восемь ландшафтных областей (Евразийская полярная, Европейско-Западно-Сибирская таежная, Восточно-Сибирская мерзлотно-таежная, Дальневосточная таежная, Центральная лесостепная и степная, полупустынная и пустынная, Субтропическая и влажно-лесная), отражающих положение крупных регионов в системе природных микрозон, а также трансформацию ландшафтов с запада на восток в связи с изменениями в этом направлении влагопереноса и атмосферных осадков. Области дифференцируются на два типа подобластей - равнинные и горные. Равнинные подобласти отличаются широтной ландшафтной зональностью, горные - высотной ландшафтной поясностью.

Последний, *четвертый* раздел первого блока легенды "Прочие обозначения" содержит условные обозначения всех типов границ (их 18), отображенных на карте линиями разных цветов, и принятых индексов.

Второй блок легенды - данные о **техногенных факторах**, влияющих на экологическое состояние геологической среды. Основную его часть (*пятый* раздел легенды) составляет таблица, в которой систематизированы сведения о природно-техногенных системах, техногенных объектах, техногенных компонентах, воздействующих на геологическую среду (от 1 до 3), техногенные изменения в геологической и других средах.

Выделены следующие обобщенные группы техногенных систем: энергетические, коммунально-бытовые, промышленные и транспортные, горно-добывающие, сельскохозяйственные. На основании экспертного анализа видов и интенсивности воздействия на геологическую среду техногенные системы дифференцированы на подсистемы. Критерии деления различны. Для энергетических систем - это вид потребляемого энергетического сырья, для горно-добывающих - виды месторождений полезных ископаемых (рудные, нерудные, горючих ископаемых и др.); при этом косвенно учтена степень токсичности добываемых полезных ископаемых. Для горно-добывающих систем, кроме того, предусмотрено картографирование способов добычи полезных ископаемых (открытый, закрытый, с помощью скважин и др.), что имеет существенное экологическое значение. Промышленные предприятия дифференцированы по характеру экологической опасности производств. Для каждой подсистемы указаны техногенные объекты, представляющие наибольшую экологическую угрозу, а также источник и механизм (техногенные компоненты) воздействия - газопылевые выбросы, сточные воды, утечки и т.д.

Выделяются три степени техногенного воздействия на геологическую среду. Слабое изменение геологической среды проявилось на площади менее 5%, а глубинность воздействия, как правило, не превышает 10 м. Соответствующие критерии для средней степени воздействия - 5-25% и 10-100 м, для сильной - свыше 25% и свыше 100 м. Степень техногенного воздействия на геологическую среду показывается на карте цветом буквенного индекса, обозначающего источник и механизм воздействия.

В заключительной части этого раздела легенды приводится интегральный показатель степени техногенного воздействия на природную среду в баллах: для территорий со слабой степенью воздействия его величина равна 1,00-1,39 балла; со средней - 1,40-2,39 балла и сильной - более 2,40 баллов. Оценка производится в границах бассейнов регионального стока и отображается цветной штриховкой по принципу "светофора". При отсутствии техногенного воздействия на геологическую среду штриховка не наносится.

Эколого-геологическая карта Старооскольского экогеорайона масштаба 1:25 000 составлена И.И.Косиновой.

Цветовая закрашка на этой карте отдана характеристике классов эколого-геологической обстановки, характеризующейся проявлением одного (а), двух (б), трех (в) и более (с) негативных факторов. Эколого-геохимические параметры не выделены в легенде в единый блок, но явились составным элементом ряда карт: карты неблагоприятных условий ЭГС территории Старооскольского района, карты благоприятных условий Старооскольского района, карты плотности техногенной нагрузки. На данных картах выполнено ранжирование территории по степени засоленности почв, степени их загрязнения по суммарной токсичности, модулю техногенной нагрузки (т/год), показателю заболеваемости населения, отраженное на сводной карте буквенными индексами. Благодаря применению современных ГИС-технологий автор оценил экологическое состояние района по совокупности проанализированных показателей.

Рассмотренные макеты эколого-геологических карт позволяют констатировать, что концептуальные основы эколого-геологического картографирования нашли практическую реализацию по многим позициям. Это касается как содержания карт, так и способов отражения на них эколого-геологической информации. Сопровождающие карты пояснительные записки не только раскрывают сущность эколого-геологических карт, но и несут большой объем информации по методике их составления, начиная от требований к информационной базе, обоснования принятых критериев оценки до способов отражения этой информации на картах и легендах к ним.

Литература

- Берлянт А.М. Справочник по картографии. - М.: Недра, 1998. - 428 с.
- Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000. - М.: Роскомнедра, 1995. - С. 76-84.
- Карта оценки экологического состояния геологической среды России. - М.: МПР России, 1998.-33 с.
- Салищев К.А. Картоведение. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. - 438 с.
- Трофимов В. Т. Инженерно-геологическое картографирование сегодня: теория, практика, проблемы // В сб. "Инженерная геология: теория, практика, проблемы". - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. - С. 4-12.
- Экологические функции литосферы / Под редакцией В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. - 430 с.

ГЛАВА 13

ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ В ОБОСНОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ОБСТАНОВКАМИ С ЦЕЛЬЮ СОХРАНЕНИЯ ИМИ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ

13.1. Общие позиции обоснования управления эколого-геологическими системами

Вопросы управления системами и принятия управляющих решений всегда являются наиболее сложными и, как правило, дискуссионными. Рассмотрение их применительно к эколого-геологическим системам не является исключением. Начнем с базовых положений этой проблемы.

Надо четко представлять различие между управлением и принятием управляющих решений. Под управлением следует понимать целенаправленное воздействие на любую систему, обеспечивающее получение необходимых результатов и ее нормальное функционирование, сохранение или планируемое развитие этой системы. Управление как таковое предусматривает наличие объекта управления и цели управления. Другими словами, управление - целенаправленный процесс, ориентированный на достижение оптимального результата с учетом установленного критерия оценки. Исходя из этого определения, конечной целью управления эколого-геологическими системами следует считать минимизацию неблагоприятных экологических последствий в этих системах и поддержание в них режима, благоприятного для жизнедеятельности людей и существования биоты на основе рационального использования и охраны природы, в том числе литосферы.

Принятие управляющего решения - важнейшая процедура в управлении, это действие, придающее управлению целенаправленный характер для достижения определенной цели. С другой стороны, принятие решения - это выбор оптимального решения из множества альтернатив на основе их сравнения. Применительно к эколого-геологическим обстановкам - это выбор управляющего воздействия, соответствующего поставленной цели и отвечающего выбранному критерию оценки. Правильность принятого управляющего решения зависит от полноты и качества соответствующей информационной базы, правильности ее анализа и вычленения ведущих факторов, определяющих планируемый процесс и являющихся важными в экологическом отношении. Представляется, что для эколого-геологических систем - это экологические функции и свойства литосферы и их трансформация под влиянием природных процессов и техногенеза. С учетом сказанного и следует подходить к прагматическим вопросам управления и принятия управляющих решений для обеспечения оптимального режима функционирования эколого-геологических систем.

Следует подчеркнуть, что во многих ситуациях именно управление и контроль за инженерно-хозяйственной деятельностью призваны обеспечить рациональное использование и охрану верхних горизонтов литосферы, а в более общем плане - нормальное функционирование эколого-геологических систем. Управление ими для сохранения или улучшения их экологических особенностей осуществляется на основе данных эколого-геологического мониторинга, который нужно рассматривать как инструмент такого управления. С этих позиций рассмотрим возможность практического использования данных экологической геологии для обоснования управляющих решений в рамках абиотической части экосистем. Понятно, и это уже подчеркивалось выше, что реализация практических эколого-геологических вопросов связана с формированием надежного информационного пространства экологической геологии, обеспечивающего научно-обоснованные предложения для принятия политиками или администраторами управляющих нормативных документов по функционированию экосистем и их абиотической составляющей. В этом плане особо важным являются следующие два положения: первое - возможность адаптации специализированной эколого-геологической информации непосредственными пользователями (руководителями территорий и предприятий, государственными органами экологического контроля, министерствами и ведомствами, правительством страны); второе - необходимость согласования подготовленного информационного обеспечения со стратегическими направлениями в экологической политике.

Реализация первого положения может быть осуществлена на базе действующих правовых и нормативных документов по схеме "да, возможно; нет, нежелательно" и посвящена разработке уровня предельно допустимых нагрузок на приповерхностную часть литосферы.

Реализация второго положения регламентируется результатами ситуационного анализа, согласованными с "Национальным планом действий по реализации решений конференции ООН по окружающей среде и развитию", сценарием развития экологической ситуации отдельных регионов страны и мира. Проведение подобных исследований в экологической геологии требует координации научно-исследовательских работ с другими науками о Земле и биосфере. Резюмируя сказанное, еще раз подчеркнем:

важнейшая роль в обосновании управления эколого-геологическими системами принадлежит методу эколого-геологического мониторинга, который обеспечивает его оперативной информацией об экологическом состоянии приповерхностной части литосферы. Эта информация имеет важное, принципиальное значение при корректировке ранее принятых управляющих решений, осуществляемых административными органами;

эколого-геологические исследования обеспечивают информацией организации, разрабатывающие законодательные и нормативные документы, на основе которых осуществляется управление природными, природно-техническими и социальными системами. Процесс разработки этих документов предполагает встречное движение от директивно-нормативных документов к эколого-геологи-

ческим исследованиям и от них к корректировке действующих документов и разработке **НОВЫХ**.

Опираясь на эти представления, а также на практику принятия и реализации управляющих решений, можно выделить три вида возможного соучастия в них специалиста в области экологической геологии.

Первый из них связан с подготовкой эколого-геологического обоснования для принятия прямых управляющих решений административными органами и областными и районными комитетами по охране природы. Такое обоснование включает в себя оценку современного эколого-геологического состояния приповерхностной части литосферы и прогноз (или прогнозные оценки) тенденций его развития с учетом существующей и намечаемой инженерно-хозяйственной деятельности, а также закономерностей развития природных геологических процессов. В зависимости от детальности проработки, целей и задач, поставленных перед исполнителями, такие оценки могут варьировать от экспертных до составления оценочных и прогнозных эколого-геологических карт разных масштабов. По своей сущности обоснование должно лежать в основе запрещающих, ограничительных или разрешающих решений административного характера, связанных с охраной окружающей среды и рациональным природопользованием.

Второй вид соучастия эколога-геолога в управлении эколого-геологическими системами - оценка масштабов и последствий воздействия на них народнохозяйственных объектов (отдельных объектов и комплекса всей техногенной нагрузки). По сути речь идет о природоохранной части проектов на разных стадиях реализации хозяйственных планов освоения территорий (от предпроектных проработок и технико-экономического обоснования до рабочих чертежей), т.е. материалов, представляемых в Государственную экологическую экспертизу. Здесь важным аспектом деятельности специалиста должно быть, помимо профессиональных знаний, хорошее владение соответствующими нормативно-методическими материалами и документами.

При этом следует иметь в виду, что в соответствии с "Руководством по оценке воздействия на окружающую среду и природоохранные критерии при размещении предприятий" оценка воздействия на окружающую среду выступает и должна выступать не как дополнительная, а как составная часть всего этапа проектирования. Она является процессом, который ведется поэтапно, по мере продвижения исследования, а не отдельным актом при завершении исследования. Такой подход заложен в качестве основы и в Закон Российской Федерации "Об экологической экспертизе".

Третий вид соучастия эколога-геолога в принятии управляющих решений связан с обоснованием необходимости искусственного преобразования массивов пород и придания им определенных свойств, обеспечивающих нормальное функционирование эколого-геологических систем. В данном контексте речь идет о профессиональном поиске конкретных геологических (инженерно-геологических, геокриологических и др.) решений по разработке методов и рецептур управления состоянием и свойствами массивов горных пород с целью сохранения ими экологических функций, разработке методов и рецептур утилизации токсичных про-

мышленных отходов и выборе оптимальных, по геологическим условиям, участков массивов горных пород для их захоронения, а также геологическом обосновании и предложениях по инженерной защите территорий, объектов и сооружений от природных и антропогенных геологических процессов, снижающих ее экологический потенциал. Перечисленные задачи соответствуют ряду научных направлений, развиваемых в инженерной геологии. Первое, по определению С.Д.Воронкевича (1992), можно назвать инженерной геохимией - "раздел инженерной геологии, занимающийся изучением условий формирования, механизма и динамики развития различных видов техногенной миграции вещества и энергии в ходе инженерно-хозяйственного использования и охраны геологической среды. Одной из центральных проблем, стоящих перед этой областью знаний, является установление и исследование взаимосвязи между характером и степенью химической переработки вещества в условиях специфических геохимических обстановок и направленностью и интенсивностью изменения таких свойств рассматриваемых систем, как масса, плотность, объем, проницаемость и т.п."

Закономерным следствием практической реализации рассмотренных выше исследований явилось появление технической мелиорации грунтов как области инженерной геологии, занимающейся разработкой теории, методики и методов искусственного улучшения горных пород и массивов в соответствии с запросами различных видов строительства. Оно (улучшение) может быть осуществлено двумя видами мероприятий: непосредственным повышением комплекса физико-механических свойств грунтов (прямое воздействие) и оптимизацией использования природных способностей грунтов за счет организационных, проектных и других подобных решений (косвенный, или мобилизирующий, эффект). Эти мероприятия обеспечены соответствующими методическими разработками, включающими методы уплотнения и осушения грунтов, инъекции специальными флюидами, температурную обработку и армирование. В данном случае специалист не только дает геологическое обоснование управляющих решений, но непосредственно сам участвует в управляющих действиях, направленных на придание массиву горных пород необходимых свойств.

13.2. О механизмах управления природоохранной деятельностью в области рационального природопользования

При рассмотрении вопроса об эколого-геологическом обосновании управляющих решений и роли в этом процессе эколога-геолога, необходимо учитывать и современные тенденции в механизмах их принятия и реализации. Отметим, что в последние годы проблеме механизмов природоохранного регулирования хозяйственной деятельности, а, следовательно, и эколого-геологическим обстановкам территорий уделяется все большее внимание. Дело в том, что в состав этих механизмов включена целая серия методов административно-правового взаимодей-



ствия с потенциально возможными нарушителями, а сами методы базируются на использовании широкого спектра нормативов и стандартов. К таким методам взаимодействия и управления можно отнести оценку воздействия на окружающую среду (о чем уже говорилось ранее), а также экологический аудит, экологическое страхование, экологическое лицензирование, экологическую паспортизацию и ряд других методов. Их полный перечень с указанием используемых стандартов и методов приведен на рис. 51, являющимся фрагментом схемы механизмов природоохранного регулирования хозяйственной деятельности, составленной В.В.Куриленко.

Здесь следует особо подчеркнуть, что все эти методы непосредственно связаны с объемом и качеством эколого-геологической информации, представляемой экологом-геологом. Это еще одна грань его участия в обосновании принятия управляющих решений.

Аналогичная ситуация просматривается и при применении экономических механизмов природоохранного регулирования хозяйственной деятельности. Она связана с широким использованием методов экономической оценки экологического ущерба, опирающихся на оценку ущерба природной среде и здоровью людей. По мнению В.В.Куриленко, такие оценки образуют комплекс методов и приемов, позволяющих установить нарушения экологических условий через трансформацию абиотических и биотических компонентов экосистемы. В систематизированном виде этот комплекс приводится на рис. 52.

Нетрудно заметить, что все эти оценки требуют эколого-геологического обоснования на базе соответствующей информации, т.е. роль экогеолога в обосновании управляющих решений является необходимой и в перспективе будет все более многогранной. Как отмечал В.В.Куриленко, приведенный перечень современных механизмов управления природоохранной деятельностью еще далеко не полный и требует совершенствования.

В заключение необходимо еще раз подчеркнуть и акцентировать внимание на том, что специалисты в области экологической геологии не принимают само-



стоятельно управляющих решений; они готовят их эколого-геологическое обоснование, используя информационное поле этого научного направления. Несмотря на это, специалист в области экологической геологии уже является той ключевой фигурой, которая позволяет найти корректные и обоснованные пути практического решения поставленной задачи.

Литература

Воронкевич С.Д. Современные проблемы инженерной геохимии // Инженерная геология, 1992. – № 3. – С.11-25.

Куриленко В.В. Современные механизмы управления природоохранной деятельностью в области рационального недропользования // Материалы межвузовской студенческой конференции "Школа экологической геологии и рационального недропользования". — СПб, 2000. – С.11-22.

Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. - 368 с.

Оглавление

Введение	3
Часть I. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ И ЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ В СИСТЕМЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК	7
<i>Глава I. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ И ЕЕ СТРУКТУРА</i>	<i>7</i>
1.1. История взглядов на содержание, структуру и задачи экологической геологии	7
1.2. Определение экологической геологии. Объект и предмет экологической геологии	9
1.3. Типы задач и систем, исследуемых экологической геологией • • •	11
1.4. Экологические функции и свойства литосферы	13
1.5. Эколого-геологические условия и их состояние	22
1.6. Логическая структура экологической геологии	23
1.7. Структура экологической геологии как науки	26
Литература	28
<i>Глава 2. НАУЧНЫЙ МЕТОД ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ И ЕЕ СОДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ</i>	<i>29</i>
2.1. Научный метод экологической геологии	29
2.2. Содержательные задачи экологической геологии	33
Литература	37
<i>Глава 3. ПОДХОДЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ.</i>	<i>38</i>
3.1. Существующие подходы к оценке экологического состояния систем	38
3.2. Категориальные основы оценки состояния эколого-геологических условий	41
3.3. Критерии оценки современного состояния экосистем	48
Биотические тематические критерии	48
Биолого-медицинские тематические критерии	53
Пространственные критерии	56
Динамические критерии	58
3.4. Критерии оценки состояния эколого-геологических условий и их компонент	59
Ресурсная группа критериев	59
Геодинамическая группа критериев	62
Геохимическая группа критериев	65
Геофизическая группа критериев	68
Литература	70
<i>Глава 4. ПОЛОЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК И ЕЕ СООТНОШЕНИЕ С ГЕОЭКОЛОГИЕЙ</i>	<i>71</i>

4.1. Положение экологической геологии в теоретическом геологическом знании	71
4.2. Прикладные разделы экологической геологии	73
4.3. Связь экологической геологии с естественными, медицинскими и социально-экономическими науками	75
4.4. Соотношение экологической геологии с геоэкологией	76
Литература	80

Часть II. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ЛИТОСФЕРЫ И ИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ТЕХНОГЕНЕЗА • • 81

Глава 5. РЕСУРСНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ • 81

5.1. Определение, значение и структура ресурсной экологической функции литосферы	81
5.2. Ресурсы литосферы, необходимые для жизни биоты	84
Биофильные элементы литосферы	84
Минеральные биогенные комплексы-кудюриты	86
Поваренная соль	89
Подземные воды как ресурс литосферы, необходимый для жизни биоты	90
5.3. Минеральные ресурсы, необходимые для жизни и деятельности человеческого общества	93
Минеральные ресурсы, их структура и человеческое общество • •	93
О запасах минеральных ресурсов верхних горизонтов литосферы •	98
О минеральных ресурсах техногенных месторождений	108
5.4. Ресурсы геологического пространства	109
Определение и структура ресурсов геологического пространства •	109
Ресурсы геологического пространства и расширение инженерно-хозяйственной деятельности человечества	111
Ресурсы геологического пространства и размещение отходов жизнедеятельности человеческого общества	119
Ресурсы геологического пространства и проблема их восстановления	133
Литература	138

Глава 6. ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ 139

6.1. Определение, значение и структура геодинамической экологической функции литосферы	139
6.2. Геологические процессы и их экологические последствия • • •	140
Систематика геологических и других природных процессов по экологическим последствиям	140
Катастрофические процессы	148
Опасные процессы	167
Неблагоприятные процессы	177

6.3.	Современные геодинамические зоны и аномалии литосферы и их экологическое значение	186
	Геодинамические зоны и аномалии и их особенности	186
	Влияние геодинамических неоднородностей литосферы на литотехнические системы, экосистемы и человека	188
6.4.	Критерии оценки состояния эколого-геологических условий, обусловленных проявлением геодинамической экологической функции литосферы	192
	Геодинамические критерии и показатели масштаба и интенсивности развития геологических процессов	192
	Критерии и показатели, характеризующие экологически неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафта и его литогенной основы в результате активно действующих геологических процессов	196
	Биологические критерии и показатели измененности представителей биоты и их комплексов под воздействием геологических процессов	198
	Социально-экономические критерии оценки воздействия геологических процессов	201
	Литература	203
	<i>Глава 7. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ</i>	204
7.1.	Определение, значение и структура геохимической экологической функции литосферы	204
7.2.	Природные геохимические поля и аномалии	210
	Литогеохимические поля и аномалии	210
	Гидрогеохимические провинции и аномалии	212
	Атмогеохимические аномалии	218
	Биогеохимические провинции и аномалии	219
7.3.	Техногенные геохимические поля и аномалии	222
	Литогеохимические поля и аномалии	222
	Гидрогеохимические аномалии	230
	Атмогеохимические аномалии	232
	Биогеохимические аномалии	233
7.4.	Влияние геохимических неоднородностей литосферы на живые организмы и человека	233
	Влияние геохимических неоднородностей литосферы на растительность и животный мир	233
	Геохимические неоднородности литосферы и здоровье человека •	238
7.5.	Критерии оценки состояния эколого-геохимических условий, обусловленных проявлением геохимической экологической функции литосферы	243
	Нормативные критерии, оценивающие медико-санитарную обстановку по данным геохимических особенностей литосферы •	243
	Геохимические критерии	246

Биогеохимические критерии	249
Литература	250
<i>Глава 8. ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ</i>	<i>252</i>
8.1. Определение, значение и структура геофизической экологической функции литосферы	252
8.2. Природные геофизические поля и их аномалии	255
Гравитационное поле и его аномалии	255
Геомагнитное поле и его аномалии	255
Температурное поле и его аномалии	257
Электрические и электромагнитные поля и их аномалии • • • •	259
Поле ионизирующего излучения	262
8.3. Техногенные геофизические поля и их аномалии	263
Природа и значение техногенных геофизических полей • • • •	263
Характеристика техногенных геофизических полей	264
8.4. О взаимодействии природных геофизических, техногенных и ионосферных полей и его экологическом значении	265
8.5. Влияние геофизических неоднородностей литосферы на живые организмы и человека	268
Влияние различных геофизических полей на живые организмы •	268
Геофизические неоднородности литосферы и проблема геопатогенеза	277
Экологические последствия изменения параметров геофизических полей во времени и пространстве	280
8.6. Критерии оценки состояния эколого-геологических условий, обусловленных проявлением геофизической экологической функции литосферы	283
Нормативные критерии, оценивающие медико-санитарную обстановку по величинам воздействующих физических полей • •	283
Комплексный подход к оценке воздействия геофизических полей на биоту.	285
Литература	287
<i>Глава 9. ЛИТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ИХ РОЛЬ В ПРЕОБРАЗОВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ЛИТОСФЕРЫ.</i>	<i>289</i>
9.1. Литотехнические системы как результат взаимодействия природных геологических и технических объектов	289
9.2. Техногенные воздействия на литосферу и их экологические последствия	293
9.3. Типизация литотехнических систем по экологической опасности •	306
9.4. Экологическая роль и функции литотехнических систем • • • •	308
Литература	310
Часть III. МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ	311

<i>Глава 10. ОБЩАЯ СТРУКТУРА ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ</i>	311
10.1. Общая структура эколого-геологических исследований	311
10.2. Методы геологических и других наук, используемые для получения эколого-геологической информации	314
10.3. Специальные методы получения и обработки эколого-геологической информации	324
Литература	338
<i>Глава 11. ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА</i>	339
11.1. Система инженерных изысканий для строительства	339
11.2. Содержание и задачи инженерно-экологических изысканий для строительства	344
11.3. Эколого-геологическая составляющая инженерно-экологических изысканий при разработке предпроектной и проектной документации	354
Литература	358
<i>Глава 12. ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КАРТЫ И МЕТОДИКА ИХ СОСТАВЛЕНИЯ</i>	359
12.1. Эколого-геологические карты - геологические карты нового типа	359
12.2. Типы созданных геологических карт экологической направленности	366
12.3. Концептуальные основы составления эколого-геологических карт	371
12.4. Примеры эколого-геологических карт разного содержания и масштабов	375
Эколого-геодинамические карты	376
Эколого-геохимические карты	391
Эколого-геологические карты	400
Литература	404
<i>Глава 13. ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ В ОБОСНОВАНИИ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ОБСТАНОВКАМИ С ЦЕЛЬЮ СОХРАНЕНИЯ ИМИ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ</i>	405
13.1. Общие позиции обоснования управления эколого-геологическими системами	405
13.2. О механизмах управления природоохранной деятельностью в области рационального природопользования	408
Литература	410

Трофимов Виктор Титович
Зилинг Дмитрий Генрихович

Экологическая геология

Редактор *В.Н.Михин*
Технический редактор *М.К.Кузьмина*
Корректор *О.В.Каикур*
Художник *М.А.Рыдаева*
Компьютерная графика: *Т.Н.Аверчива, Е.В.Кормакова*
Компьютерная верстка: *Г.Н.Дроздова*

Подписано в печать с оригинал-макета 15.05.2002
Формат 70х100/16. Гарнитура "Times New Roman".
Печ.л. 26 Уч.-изд.л. 30,3 Тираж 700 экз. Заказ 524
ЗАО "Геоинформмарк". 115172, Москва, ул. Гончарная, 38. Тел. ред. 915-60-84.
Отпечатано в ЗАО "Астра семь"
119019, Москва, Филипповский пер., 13

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

В.Т.ТРОФИМОВ
Д.Г.ЗИЛИНГ

В.Т.ТРОФИМОВ
Д.Г.ЗИЛИНГ

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ



МОСКВА
2002