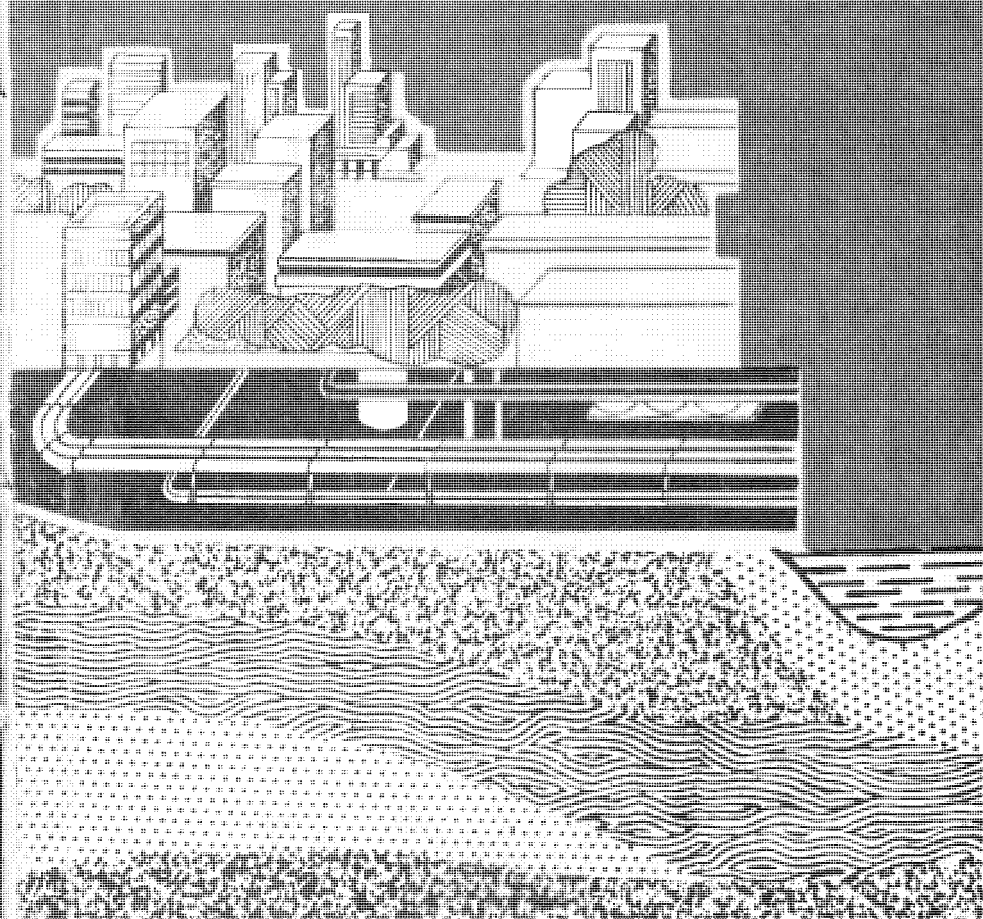


Г.А. ГОЛОДНОВСКАЯ  
Ю.Б. ЕЛИСЕЕВ

# ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ



Г.А. ГОЛОДНОВСКАЯ  
Ю.Б. ЕЛИСЕЕВ

# **ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ**



МОСКВА "НЕДРА" 1989

ББК 26.3  
Г 61,  
УДК 624.131.1

Рецензент канд. геол.-минер. наук Г. Л. Кофф

**Голодковская Г. А., Елисеев Ю. Б.**

**Г 61** Геологическая среда промышленных регионов:— М.:  
Недра, 1989.— 220 с.: ил.

ISBN 5-247-00850-2

Рассмотрено новое направление инженерной геологии, названное авторами «инженерной геоэкологией». Продемонстрированы реальные возможности комплексного картографирования изменений геологической среды под влиянием деятельности человека. С помощью картографической модели дана оценка устойчивости геологической среды к техногенному воздействию и прогноз ее возможных изменений при различных хозяйственных мероприятиях.

Для геологов, географов, экологов, а также специалистов, занимающихся планированием и управлением народного хозяйства.

**Г** 1804090000—402  
043(01)—89—138—89

**ББК 26.3**

ISBN 5-247-00850-2

© Издательство «Недра», 1989

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Геологическая среда городов и промышленно развитых территорий — такая же важная составляющая существования населения, как воздух, растительность, реки и озера. В то же время уже первое знакомство с планами развития городов и их инфраструктур, размещения промышленных объектов, рекреации и охраны среды убеждает в том, что литогенной основе городских территорий и подземным водам уделено в них крайне мало внимания. Эту позицию можно понять, но нельзя оправдать, так как скрытые от прямого наблюдения и проявляющиеся на поверхности процессы изменения литосферы не менее, если не более опасны для жизнедеятельности общества, чем обмеление рек или сокращение площади лесов.

Именно тревогой за судьбу и состояние геологической среды объясняется то, что за последние 10—15 лет в геологии, и прежде всего в инженерной геологии, все более четко очерчиваются контуры нового — геоэкологического — направления исследований, в котором литосфера с ее водной и газовой составляющими рассматривается как среда жизнедеятельности человека, влияющая на него и от него же зависимая. Новая позиция потребовала теоретического переосмысления подхода к изучению геологического пространства и процессов, протекающих в нем, значительно расширила границы объекта исследования за счет включения пограничных геосфер. Это в свою очередь заставило пересмотреть методику и технологию традиционных инженерно-геологических исследований, сконцентрировать внимание на постоянно действующих моделях геологической среды и таких методах, как аэрокосмическое зондирование.

В работе, предлагаемой вниманию читателей, обобщен опыт построения региональной картографической постоянно действующей модели геологической среды, прошедшей апробацию в условиях промышленно развитых регионов и прежде всего на территории Москвы и Московской области.

Картографическая модель является лишь частью сложной информационной системы, включающей также канал информационного обеспечения модели, подсистемы обработки и хранения данных и математического прогнозного моделирования. Эта информационная система названа в работе геоэкологическим мониторингом, что вполне соответствует предмету изучения (геологическая среда, техносфера, элементы граничных сред), направленности исследований (геоэкологический контроль, прогноз и управление развитием геосреды) и принципу непрерывности изучения и контролирования предмета исследований.

Особые роль и место в контроле за состоянием геологической среды принадлежат дистанционным методам зондирования, ко-

которые в наше время чрезвычайно интенсивно совершенствуются (этим методам посвящена гл. 3).

Картографическая модель геологической среды, геоэкологический мониторинг и инженерно-геоэкологическое направление раскрываются в работе на конкретном примере исследования Московского региона, природным особенностям и процессам изменения геологической среды которого уделено внимание в гл. 2. Необходимо отметить, что давно уже назрела необходимость регулярного выпуска справочника по инженерно-геоэкологическим условиям крупных городских агломераций и прежде всего Московской и Ленинградской, где для этого имеется немало фактического материала. Если говорить о Московском регионе, то его статус «столичного» определяет неординарность территории как объекта исследований. В данном случае геоэкологический мониторинг—это прежде всего информация, без которой любые прогнозы, а тем более планы инженерной реконструкции среды обречены на неудачу. Причины споров вокруг проектов переброски рек, создания равнинных водохранилищ и эффективности мелиорации разнообразны, как разнообразны и аргументы спорящих сторон. Но все же главная причина в дефиците информации о фактическом состоянии объекта, о развитии объектов-аналогов.

Выделение инженерной геоэкологии в комплексе наук о Земле отвечает реальному повороту экологического самосознания общества, полностью соответствует курсу партии на значительную интенсификацию работ по охране среды и повышению их эффективности.

Авторы выражают глубокую признательность своим коллегам по нелегкому труду в новом инженерно-геоэкологическом направлении исследований — Н. И. Лебедевой и Т. Г. Портновой, участвовавшим в создании первой картографической модели геологической среды Московского региона. Их труд и идеи помогли становлению этого направления, созданию новых и оригинальных карт геологической среды, техносферы и процессов их взаимодействия.

Работы по эксплуатации и совершенствованию постоянно действующей модели геологической среды промышленно развитых территорий продолжаются. Авторы будут благодарны за все замечания и пожелания и по самой книге, и по моделям карт, их подборке и содержанию.

# ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА КАК ПРЕДМЕТ ИЗУЧЕНИЯ

## 1.1. АКТУАЛИЗАЦИЯ ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОБЩЕСТВА И ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЭКОЛОГИЯ

Проблемы взаимоотношения общества и природной среды за последние десятилетия выдвинулись в один ряд с такими жизненно важными проблемами человечества как предотвращение ядерной войны, нехватка продуктов питания и формирование устойчивых очагов голода на Земле. Осознание реальности экологического кризиса относится к середине XX в., когда в печати все чаще стали появляться тревожные сообщения об отрицательных последствиях применения пестицидов и азотных удобрений, загрязнения атмосферы, кислотных дождей, сбросах в моря и океаны токсичных веществ и т. д. Особый резонанс вызывали сообщения об истощении природных ресурсов, экологические прогнозы и проекты технико-экономической или социально-политической профилактики этих негативных явлений.

Противоречия между природой и человечеством особенно остро проявляются в наше время, когда интенсивнейшее воздействие техники на природную среду вызывает столь же интенсивную ответную реакцию среды, грозящую глобальным экологическим кризисом. И все же тревога за судьбу природы родилась не сегодня, ее корни уходят в далекое прошлое, к истокам зарождения общества.

Изначально и естественно стремление человека к познанию мира, дающего ему кров и пищу, но таящего угрозу его существованию. На заре истории отношения человека со средой регулирования его инстинктами выживания и самосохранения. Потребовалось немало времени, чтобы человек поднял лозунг с призывом к покорению природы и приобрел убеждение в неисчерпаемости природных ресурсов. Этот путь привел его к современным экологическим противоречиям.

История отношений общества и природы полна борьбы идей, мнений, теорий. Эта борьба не является исключительной прерогативой нашего цивилизованного времени, нашего уровня самосознания. Мотив тревоги за судьбу природы прослеживается уже в древних космогонических идеях. С особой силой эти идеи проявились в древнеиндийских и древнекитайских философских учениях, в которых человек не только обособлялся от окружающего мира, но и нередко противопоставлялся ему.

При династии Чжоу, пришедшей к власти в Китае в 1027 г. до н. э., культ Земли был возведен в ранг самостоятельного религиозно-философского учения, в котором за завесой церемони-

ала и мистики проглядывает забота о природе и защите ее от сил, несущих угрозу плодотворному потенциалу Земли. В законодательном порядке предписывалось соблюдение правил, которые в наше время могли бы быть с полным основанием отнесены к правилам рационального землепользования. В то далекое время в Китае велись регулярные метеорологические наблюдения, которые впоследствии позволили выявить цикличность ряда атмосферных процессов.

Отголоски экологических противоречий между человеком и окружающей его природой дошли до нашего времени в древних философских и религиозных учениях, мифах и легендах. Древнекитайский философ Лао-цзы (IV—III вв. до н. э.), основатель одного из направлений даосизма, в своем учении призывал к возврату к «естественной» жизни, выступая против лодок, повозок, дорог, на много веков опередив в этом современных алармистов.

В Киевской Руси IX—XII вв. существовал свод законов «Русская правда», который содержал ряд статей об охране охотничьих и бортнических угодий. Его действие позднее (1236—1480 гг.) было надолго прервано монголо-татарским нашествием. Карта Московского государства, составленная в начале XVI в., содержала сведения о состоянии природной среды, в частности о проявлениях геологических процессов, связанных со сведением лесов и распашкой земель.

Но и в те далекие времена человек конфликтовал с природой, что порождало серьезные (даже по теперешним понятиям) кризисные ситуации и экологические конфликты. С одним из них М. И. Будыко связывает конец культуры палеолита в Европе, когда, по его мнению, возникали неразрешимые противоречия между техникой и масштабами истребления человеком крупных животных и восстановлением их численности. Известна гипотеза о другой кризисной ситуации, выдвинутая американским климатологом Р. Брайсоном. Он считает, что опустынивание одного, когда-то густо населенного, района Северо-Западной Индии было вызвано деградацией почв в результате выпаса скота: вытаптывание почвенного покрова, пылевое загрязнение атмосферы и иссушение климата превратили некогда цветущие сады в пустыню. Географ А. С. Кесь, исследовав древние почвы Хорезмского оазиса, пришел к выводу о том, что засоление здешних земель произошло в далеком прошлом под влиянием искусственного орошения. Эти выводы А. А. Григорьев развернул в концепции экологических катастроф Приаралья, нарисовав убедительную картину разрушения сложившихся природных систем в результате избыточного водоотбора из питающих Арал рек — Амударьи и Сырдарьи. Возможно, эти экологические катастрофы стали одной из причин падения Древнего Хорезма.

В описаниях греческого историка и философа Геродота упоминается Гилея — обширнейший лесной массив, на месте ко-

того теперь находятся пески, известные в литературе как Нижнеднепровские. Археологические исследования и палеогеографические построения последних десятилетий позволили получить убедительные доказательства быстрого опустынивания этого уникального ландшафта после вырубки лесов в XII—XIII вв.

Города ушедших в историю эпох были мощнейшими источниками загрязнения среды. Скопления городского мусора порождали губительные эпидемии. Вокруг городов вырубалась растительность и вытаптывались почвы; немало таких городов было погребено песками, механизм движения которых был пущен самим человеком. О скорости таких катастрофических процессов позволяют судить сравнительно недавние подвижки песков на юго-востоке Ирана, где вблизи селения Доулентаб' ведутся раскопки пяти городов. Еще два века назад на месте песков был густонаселенный оазис.

Европейские города средневековья «задыхались» из-за мусора и отходов, которые скапливались за городскими стенами. А к XVI в. города уже играли немалую роль в расселении людей: так, Лондон насчитывал 250 тыс., Милан — более 200 тыс., Антверпен и Амстердам — свыше 100 тыс. жителей.

Мануфактурное производство и развитие промышленности XVI—XVIII вв. привели к загрязнению среды в таких масштабах, которые не могли не вызвать тревоги у ученых того времени.

Примеры можно продолжить. Они неоспоримо свидетельствуют о том, что на всем протяжении истории цивилизации неоднократно обострялись противоречия между человеком и природой, возникали кризисные экологические ситуации.

Философы Древней Греции (Пифагор, Платон и др.) придерживались концепции «гармонии сфер». При всех спорах и разногласиях философские школы и течения античного времени (стоики, эпикурейцы и др.) сходились в главном — жить нужно в согласии с природой.

Во времена классово-антагонистических общественных формаций конфликт человека и природы обостряется. Идет тотальное наступление на природу под лозунгами потребления и покорения ее. Расцвет цивилизаций всегда связан с наибольшим размахом преобразования природы. Войны и внутренние конфликты влекли за собой упадок культуры земледелия. В эволюционной цепи развития народов прослеживается чередование звеньев социальных и экологических конфликтов. Предостережения погибших цивилизаций не воспринимались развивающимся обществом и лишь экономические сбои, вызванные экологическим дискомфортом, предшествующим кризисным ситуациям, заставили обратиться к опыту истории.

Бытующая точка зрения о том, что в далекие эпохи разрушение природы было незначительным и не оставило тяжелых глобальных последствий, не совсем верна. Именно тогда, разрушая природу в одном месте и переходя на другое, человек



уверовал в «неисчерпаемость» ее. Эта вера, во многом подсознательная, пришедшая из далеких эпох, принесла и приносит немало зла, служа оправданием многих действий, несущих сегодня выгоду, а завтра экологический ущерб. История показывает, что экологические катастрофы прошлого начинались с благих идей.

Разрыв человека с природой, со всеми вытекающими экологическими последствиями, с особой силой и размахом проявился в эпоху утверждения капиталистического способа производства. Именно тогда упали на благодатную почву призывы Р. Декарта сделать властителями природы, идеи И. Фихте о господстве над природой и идеи Ф. Ницше о том, что власть над природой предписана человеку изначально. Одновременно завоевывала популярность теория незыблемости и предопределенности гармонии общества и природы, основанная на работах монахов Б. Спинозы и Г. В. Лейбница. На тех же позициях стоял и Г. Гегель, не признававший реальности угрозы глобального экологического кризиса. Все эти теории способствовали развитию негативного процесса, который сейчас называется экологическим отчуждением человека.

В XVIII—XIX вв. тревога за состояние природы возрастает. В 1820 г. Ж. Ламарк писал, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар непригодным для обитания. Однако даже такие резкие высказывания, характерные для того времени, не могли сдержатъ бессистемного и губительного вмешательства в природные процессы, хотя результаты его уже отражались и на экономике, и на здоровье людей. Вместе с тем в ряде стран принимаются законодательные документы по охране почв и лесов, проводятся исследования, направленные на познание последствий вмешательства в природные процессы, на регулирование взаимоотношений между обществом и природой. Осуществляются мероприятия по охране окружающей среды, особенно в районах, где оскудение природы чревато экономическими убытками.

Так, в России в 1721 г. ученый и управляющий сибирскими заводами В. Н. Татищев проводит уникальное по масштабам картирование уральских лесов и выступает с инициативой упорядочения и регулирования их промышленных рубок. При Петре I было издано около 60 законов по охране природы с учетом реальности и далекой перспективы. Возглавивший в 1758 г. Географический департамент Академии наук М. В. Ломоносов создает «Вольное экономическое общество к поощрению в России земледелия и строительства». Его научные разработки по взаимосвязи лесов и почв, о роли живых организмов в происхождении нефти, углей и чернозема используются в планах освоения земель.

В работах М. В. Ломоносова заложены истоки синтеза экологического, географического и геологического направлений в

естествознании, что вновь повторяется уже в наше время при формировании таких новых научных направлений как социальная экология, инженерная геоэкология и др.

Промышленная революция на рубеже XVIII и XIX в., возросший интерес общества к природной среде, стимулируемый, с одной стороны, политикой ее все более широкой эксплуатации, а с другой, шагами по ее защите, вызвали появление большого числа работ, в которых делались попытки обобщения и прогноза роли техногенной деятельности человека в эволюции биосферы. В своем труде «Космос» А. Гумбольдт писал о глобальности воздействия человека на окружающий мир. Под влиянием его идей А. Гюйо, Г. Марш, Э. Реклю и Ф. Ратцель обосновывают необходимость выделения некоего пространства, где процессы воздействия человека на среду реально ощутимы. В 1876 г. Э. Реклю выделил преобразуемое человеком пространство, назвав его географической средой. В 1886 г. в России выходит работа Г. Марша с анализом основных сил и средств преобразования среды.

Экологические конфликты на фоне роста технического могущества общества породили множество научных течений и разногласий в прогнозе дельнейших взаимоотношений человека и природы. Все еще сильны были настроения антропоцентризма с его противоречивыми идеями полного и гармоничного слияния с природой и в то же время неизбежности экологического кризиса — «экологического обнищания», по выражению французского исследователя Ф. Сен-Марка в его труде «Социализация природы». Позиция его последователей хорошо отражена в лозунге «нищета или загрязнение», популярном среди сторонников алармистских течений.

Одним из основоположников теории кризиса в отношениях человека и природы, Г. Марш, в книге «Человек и природа, или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы», изданной в 1886 г., писал, что человек слишком долго забывал, что Земля дана ему для пользования ее плодами, а не для растраты ее и еще менее для безрассудного уничтожения ее производительности. К сожалению, спустя 100 лет эти слова не потеряли актуальности.

Прошлый век характерен крайними позициями и сторонников наступления на природу, нашедшими свое выражение в призыве О. Конта к ликвидации всей бесполезной для промышленного использования жизни на Земле; такую позицию Д. С. Миль назвал сумасшествием на почве регулирования цивилизации.

Борьба концепций не ослабевает и сегодня. В 1984 г. журнал «Фьючерист» (США) отвел свои страницы для дискуссии между профессором Иллинойского университета Дж. Саймоном и консультантом Экологического фонда США Л. Грантом. Первый доказывал и защищал тезис о неограниченном изобилии окружающего мира. Второй противопоставил ему пессимисти-

ческие прогнозы будущего Земли и взаимоотношений общества со средой. Пессимистический алармизм и «технофобия» пользуются большой популярностью на западе и в США, где такие ученые как Г. Келлер, Р. Селернс и Д. Плетт предсказывают гибель цивилизации. Гибель эту, по их мнению, несут наука и техника. Неотомист И. Бохенский сравнил человека со слепцом, который никогда не достигнет ясности в понимании окружающего его мира. На таких позициях зреют выводы об антисоциальности любого технического вмешательства в природные процессы и непредсказуемости его конечных результатов.

Питательной средой для алармистских идей служат и популярные на западе теории неизбежности технизации природы, замены части ее компонентов искусственными системами. Известный архитектор Л. Корбюзье решительно отвергал саму мысль о возможном мирном сосуществовании природы и общества, проповедуя «врубание», «вгрызание» в природу. «Нас стесняет природная среда, — писал Л. Корбюзье, — с которой мы боролись и боремся каждый день». Нужно сказать, что если взглянуть в некоторые наши городские ландшафты, то возникает мысль о том, что лозунги Л. Корбюзье нашли воплощение.

В то же время как альтернативу такой позиции можно рассматривать тезис о необходимости установления пределов в развитии научно-технического прогресса, прекращении роста населения, наиболее полно обоснованный в книге Д. Медоуза «Пределы роста».

Диалектико-материалистическое понимание взаимоотношений человека с природой отражено в трудах К. Маркса, Ф. Энгельса и В. И. Ленина.

В работе «Диалектика природы» Ф. Энгельс приводит яркие примеры природоразрушительной деятельности человека, его неразумного хозяйствования на Земле. В то же время в основе марксистско-ленинской концепции взаимоотношения общества и природы лежит тезис их единства. О «тождестве» природы и человека говорится в работе К. Маркса и Ф. Энгельса «Немецкая идеология», а противопоставление человека и природы названо ими бессмысленным.

Недавние реляции о крупных победах над природой, связанных с крупномасштабными гидротехническими мероприятиями или проектами мелиорации регионов, заставляют вспомнить предостережения Ф. Энгельса от обольщения победами над природой: «За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых»<sup>1</sup>.

В основе многих ошибок экологического прогнозирования лежит незнание законов природы. В. И. Ленин писал: «...пока мы

---

<sup>1</sup> Маркс К, Энгельс Ф. Собр. соч., т. 20, с. 495.

не знаем закона природы, он, существуя и действуя помимо, вне нашего познания, делает нас рабами «слепой необходимости». Раз мы узнали этот закон... — мы господа природы»<sup>1</sup>.

В познании законов эволюции окружающего мира, его связи с создаваемой человеком искусственной средой исключительная заслуга принадлежит В. И. Вернадскому, который создал учение о биосфере. Эта оболочка Земли, впервые выделенная Э. Зюссом в 1875 г., в течение почти 40 лет не привлекала внимания ученых. И лишь в 1920-х гг. В. И. Вернадский дал ей глубокую научную трактовку, выделяя биосферу как колыбель человечества. Развивая учение о биосфере, он сопоставляет деятельность человека на Земле с геологической силой, способной и к созиданию, и к разрушению. Человек, ставший крупнейшей геологической силой, формирует новое по своим качествам пространство, где природные силы подчиняются технике. Закономерность формирования новых взаимоотношений человека и среды раскрывается В. И. Вернадским в его учении о ноосфере. Уже на склоне лет он писал о широких творческих возможностях человека в деле преобразования природы с глубокой верой в прогрессивное начало этого преобразования.

Идеи В. И. Вернадского получили развитие в трудах А. Е. Ферсмана, Б. Б. Полынова, Г. Ф. Хильме, А. И. Перельмана, А. Л. Яншина, А. В. Сидоренко, Е. М. Сергеева и др.

Борьба идей хорошо видна в альтернативности современных прогнозов развития природы и общества. Позиции советских ученых в этом вопросе также не однозначны. Но в их основе всегда лежит вера в разум человека и силу науки.

Нельзя не вспомнить слова Ф. Энгельса о том, что «...животное только *пользуется* внешней природой и производит в ней изменения просто в силу своего присутствия; человек же вносимыми им изменениями заставляет ее служить своим целям, *господствует* над ней»<sup>2</sup>. Суть такого «господства» раскрыта в работе Ф. Энгельса «Анти-Дюринг», где он говорит: «Не в воображаемой независимости от законов природы заключается свобода, а в познании этих законов и в основанной на этом знании возможности планомерно заставлять законы природы действовать для определенных целей»<sup>3</sup>. Эта мысль развернута в «Диалектике природы»: «...факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы,— что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять»<sup>4</sup>. Точнее сказать нельзя.

<sup>1</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 198.

<sup>2</sup> Маркс К., Энгельс Ф. Собр. соч., т. 20, с. 495.

<sup>3</sup> Там же, с. 116.

<sup>4</sup> Там же, с. 496.

Призывы к «нулевому росту» технических преобразований, к достижению «мирового равновесия» и возврату первозданной природы не остановят преобразования среды. В трудах В. Т. Мещерякова, Э. М. Сороко, Н. Н. Моисеева, И. Т. Фролова А. А. Горелова и других взаимоотношения человека и природы рассматриваются как коэволюция. Любой другой путь ведет к экологической катастрофе.

Идет процесс экологизации практически всех научных направлений. Геология переживает сложный период ломки устоявшихся стереотипов и становления новых задач, решение которых требует знания законов взаимоотношения литосферы с другими геосферами, в том числе с техносферой. По сути речь идет о формировании нового направления — инженерной геоэкологии.

Противоречия между возрастающей технической мощью человека, масштабами ее использования и способностью природы к адаптации в новых условиях техногенного прессинга приобрели особую остроту во второй половине XX в., что проявилось в возникновении целого ряда кризисных экологических ситуаций, безудержном росте загрязнения подземных и поверхностных вод, изменениях климата и разрушения почвенного слоя.

Чувство тревоги за дальнейшую судьбу природы и общества, осознание их единства и взаимозависимости выдвинули в ряд жизненно важных проблему изучения и контроля процессов изменения среды для прогнозирования и управления ими. Новые идеи, смена принципов нашего отношения к природе затронули все естественные науки, а в геологии привели к выделению нового направления, в основу которого было заложено системное изучение взаимодействия геологической среды с другими средами — поверхностной гидросферой, атмосферой, биосферой, а также с социо- и техносферой.

Новое направление мы предлагаем назвать инженерной геоэкологией. Это название хорошо отражает задачи направления — изучение геологического пространства как среды обитания и ее инженерного преобразования — и не противоречит принципам геологического подхода к познанию мира и теоретическим основам социальной экологии как междисциплинарной науки о взаимоотношении общества с окружающей средой.

Верхние горизонты литосферы с полным основанием могут рассматриваться в качестве геологической среды жизнедеятельности человека, изменение состава и качества которой заметно сказывается на экологической обстановке многих регионов. Еще в 1980 г. А. В. Сидоренко предупреждал, что мы все больше вторгаемся в земные недра, и результаты этого вмешательства часто труднее исправить, чем избавиться от загрязнения воды и воздуха или предотвратить гибель отдельных видов животных. Это предсказание начинает сбываться.

Современная экологизация науки привела к формированию такого междисциплинарного комплекса отраслевых научных на-

правлений, в котором тесно переплетены проблемы экологии, социологии, философии и таких естественных наук как геология, биология, география и др.

С начала 1980-х гг. это направление, его терминологическая база, научно-методические основы и круг решаемых задач стали предметом пристального интереса геологов, деятельность которых так или иначе связана с изучением и прогнозированием последствий инженерно-хозяйственной деятельности человека.

Сама мысль о выделении новой отрасли геологии, изучающей техногенные изменения окружающей среды, не нова. Так, еще в начале 1960-х гг. И. П. Кириченко писал, что геология из разряда наук, познающих мир, должна перейти в разряд наук его изменяющих. Позднее И. В. Круть, считавший неизбежным выделение нового геологического направления, предложил назвать его геоэкологией. Сходную позицию отстаивал А. В. Сидоренко, выделявший в качестве нового направления, изучающего геологические последствия хозяйственной деятельности человека, «техническую геологию». В настоящее время это направление проходит этап методологического становления. Примером могут служить разработки Г. Л. Коффа по геоэкологическим проблемам при изысканиях и проектировании сооружений.

Из всех наук геологического цикла наиболее подготовлена к изучению техногенных изменений геологической среды инженерная геология, которую Е. М. Сергеев рассматривает как часть науки о ноосфере [29, 30]. С этим вполне согласуется позиция Г. К. Бондарика, считающего, что нет другой науки геологического цикла, кроме инженерной (физической) геологии, «продуктом» которой была бы информация об изменении состояния геологической среды в результате ее взаимодействия с проявлениями хозяйственной деятельности [1].

Наконец, Е. М. Сергеев прямо определяет инженерную геологию как науку о геологической среде, ее рациональном использовании и охране [30]. Проследив историю становления инженерной геологии с момента ее зарождения, Е. М. Сергеев и В. Т. Трофимов ее современный этап связывают с новой проблемой — рациональным использованием и охраной геологической среды [34]. Научной и методической базой для развития этого направления служат труды Ф. П. Саваренского, Г. Н. Каменского, И. В. Попова, В. А. Приклонского, Н. В. Коломенского, П. Н. Панюкова, П. Ф. Швецова, Г. С. Золотарева, Л. Д. Белого и многих других ученых, внесших большой вклад в теорию и практику изучения инженерно-геологических процессов, возникающих в результате инженерно-хозяйственных преобразований природной среды. Становлению нового направления геологических исследований помогают фундаментальные разработки в области учения о геологической среде Е. М. Сергеева, Ф. В. Котлова, Г. К. Бондарика и др.

Геоэкологическое направление развивается и за рубежом. С начала 1970-х гг. в геологической литературе США все чаще встречается термин «геология окружающей среды», под которым понимается изучение геологических, гидрогеологических и гидрологических факторов как компонентов окружающей среды. Проводимое для этих целей картирование было названо геоприродным. Содержание разработанных для этих целей проектов выходит за рамки собственно инженерно-геологических исследований. Так, проект геоприродного картирования территории, прилегающей к заливу Сан-Франциско, предусматривает составление геологических, гидрогеологических, геодинамических (стабильности склонов, эрозионных процессов, сейсмической активности) карт, а также карт твердого стока, оседания земной поверхности, распределения осадков над водами залива, изменения химического состава вод и степени загрязнения водоемов и др. По мнению авторов проекта, такой состав карт поможет лучше сочетать планы развития города с охраной природной среды и повысит качество прогноза влияния градостроительства на состояние залива.

В 1980 г. Генеральная ассамблея Международной ассоциации инженеров-геологов (МАИГ) приняла Декларацию МАИГ об участии в решении проблем окружающей среды, в тексте которой в качестве важнейшего положения предлагается обратить внимание всех специалистов, работающих в инженерной геологии и смежных науках, на необходимость учитывать при проектировании и строительстве любых сооружений не только их надежность и экономичность, но в равной степени и вопросы охраны и рационального использования окружающей среды.

Вопросы охраны геологической среды обсуждались на специальном симпозиуме, состоявшемся в ПНР в 1979 г. Становление нового направления — геологии окружающей среды — закреплено XXVI Геологическим Конгрессом. Работы последних лет Д. Радбрух-Холла, Д. Шустера, В. Дармана и И. Арну свидетельствуют о растущем интересе к обсуждаемой проблеме в США, Великобритании, Франции и ФРГ. Методологические аспекты геологии окружающей среды, примеры практической реализации концепции охраны геологической среды изложены в работах М. Матулы (ЧССР) и В. Ковальского (ПНР).

Изучение процессов, происходящих в верхних горизонтах литосферы в связи с инженерной деятельностью человека, традиционно считается главной научной задачей инженерной геологии. Однако теоретические и практические исследования в этой области направлены главным образом на изучение влияния геологической среды на устойчивость инженерных сооружений. Обратные связи в этой системе, т. е. изменения геологической среды, вызываемые разнообразной инженерной деятельностью, изучены значительно хуже, поскольку познанию их долгое время не уделялось должного внимания.

Все трудности исследования таких обратных связей обусловлены сложностью строения геологической среды и разнообразием средств воздействия человека на нее, слабой изученностью энергетических связей геологической среды, рассматриваемой в качестве системы. Здесь придется привлечь все современные методы геологии и смежных наук, а также весь аппарат системного анализа. В этом случае геологическая среда рассматривается как сложнейшая полисистема со своей иерархией элементарных систем-составляющих или их совокупностей. По сути дела инженерная геология изучает некую часть биосферы с процессами, происходящими в геологической среде. В своей практической деятельности мы чаще всего ограничиваемся более простой конструкцией в виде системы «объекты техносферы — геологическая среда». По существу в этом случае речь идет о природно-технических системах (природно-техногенных или природно-геотехногенных). Возможно, что здесь подошел бы и термин «геосистемы», но он более четверти века используется для обозначения ассоциации географических объектов. Именно так трактовал его В. Б. Сочава, разработавший положение о геосистемах и развивший его в учение о географических системах.

Мы используем понятие «геосистема» с позиций инженерной геоэкологии и включаем в него геологическую среду в качестве основы и контактирующие с нею компоненты внешних сред. Последнее сближает смысловое содержание термина, используемого в нашей работе и в работах В. Б. Сочавы, Г. Клуге и Р. Ланге, Г. С. Макунина, А. А. Крауклиса и др.

В природно-технических системах (ПТС) геологическая среда может рассматриваться и отдельно, в качестве подсистемы. Задача инженерной геоэкологии заключается в изучении последствий, к которым приводят изменения окружающей (внешней) среды в этой подсистеме, и обратной проблемы: как сказываются изменения в геологической среде на свойствах и поведении внешних сред, в том числе искусственных. Решению этой задачи подчинен выбор системных параметров, оценка их структуры и поведения.

Геологическая среда, как и все геологические объекты, представляют собой динамическую систему; для познания закономерностей ее поведения чрезвычайно важно выяснить отношения системы к временному фактору. Временная экстраполяция поведения системы, т. е. прогноз ее функционирования, — одна из главных задач инженерной геологии и прежде всего того ее направления, которое изучает взаимодействие геологической среды с внешними средами (в том числе с техносферой).

Оценка состояния природно-технической геосистемы и прогноз ее развития требует выяснения закономерностей ее историко-геологического развития. Поэтому при системном анализе большое внимание уделяется ретроспективному аспекту исследований и построению ретроспективных моделей.



Геологическая среда — открытая система, постоянно взаимодействующая (массо- и энергообмен) с внешними средами. В результате этого взаимодействия происходит изменение свойств и поведения геологической среды, которое, в частности, при взаимодействии с искусственной средой (техносферой) приводит к трансформации природных геологических и возникновению техногенных процессов. Эти представления достаточно четко изложены Г. К. Бондариком. Но его схема взаимодействия приповерхностной части геологической среды с другими средами не учитывает техносферу, ее особую роль в этом взаимодействии, что противоречит предлагаемой инженерно-геоэкологической концепции изучения природной среды или части ее. Та же концепция требует расширения круга изучаемых процессов по сравнению с инженерной геодинамикой и прежде всего за счет включения процессов подтопления и загрязнения среды, а также комплекса процессов, вызванных инженерно-хозяйственной деятельностью человека.

Инженерно-геоэкологические исследования должны вестись с различной степенью детальности, отвечающей различным масштабам картографирования. Эти масштабы определяются целевым назначением работ (обоснование генеральных схем развития народного хозяйства страны (или отдельных ее регионов) или схем районной планировки, генеральных планов развития городов и промышленных узлов или отдельных промышленных объектов и т. д.). Цели и масштабы исследований во многом определяют выбор системных элементов, детальность анализа их характеристик и функций в рассматриваемой системе, а также методы изучения как самих этих элементов (горные породы, подземные и поверхностные воды, рельеф, биота, объекты техносферы, физические поля), так и их энергетических связей.

Требования к информации, оценкам и практическим рекомендациям на различных уровнях детализации инженерно-геологического и гидрогеологического картографирования содержатся в различного рода методических рекомендациях и нормативных документах. В частности, применительно к решению гидрогеологических задач они рассматривались И. С. Пашковским.

В работе, посвященной проблеме инженерной защиты объектов техносферы от опасных геологических процессов, Г. С. Золотарев предлагает выделять три уровня детализации таких обоснований, соответствующие масштабам 1 : 200 000—1 : 500 000 (при ТЭО районной планировки), 1 : 100 000 (на стадии проекта районной планировки) и 1 : 5000—1 : 25 000 (при детализации ситуации) с использованием врезок. Все эти разработки и требования были учтены при обосновании инженерно-геоэкологического картографирования.

Региональные исследования и картографирование инженерно-геоэкологической ситуации крупных промышленных регионов целесообразно вести в масштабе 1 : 200 000, допускают-

ся и более мелкие масштабы. Они осуществляются на базе имеющейся информации о состоянии геологической среды и нагрузках на нее с дополнительным изучением реальных условий. Прогнозные построения основываются на опыте изучения последствий взаимодействия геосистем и объектов техносферы в сходных условиях. Рекомендации рассчитаны на использование в планах развития народного хозяйства региона с учетом природоохранных мероприятий.

Локальные инженерно-геоэкологические исследования ведутся под отдельные элементы инфраструктуры региона (города, промышленные узлы, гидротехнические сооружения). Их детальность соответствует масштабам 1 : 25 000—1 : 50 000. Они требуют специального полевого изучения, содержание и объемы которого зависят от степени изученности района. Прогноз изменения состояния системы не может ограничиваться качественными оценками, а требует привлечения количественных методов прогнозирования.

Детальное изучение взаимодействия геологической среды с техносферой осуществляется с учетом конкретных факторов, определяющих функционирование системы в заданных рамках, с количественным прогнозом ее изменений. На этом уровне проводятся картографирование территорий отдельных промышленных, жилых и других зон урбанизированных районов, отдельных массивов мелиорируемых земель, горнодобывающих комплексов, участков подземного водоотбора с учетом реального риска связанных с ним ландшафтных изменений, зон подтопления земель и т. д. Количественные параметры для оценки состояния и прогноза поведения системы в этом случае могут быть получены только при проведении специальных исследований, детальность которых соответствует масштабам картографирования 1 : 10 000 и крупнее.

Очевидно, что на каждом таком уровне должно соблюдаться единство методологического подхода к решению поставленных задач и приемственность в методике исследований. И здесь встает задача разработки принципов схематизации объектов картографирования и отображения их связей. Вся трудность заключается в том, чтобы модель отражала реальную ситуацию и вместе с тем позволяла представить регнозную и прогнозную картины ее изменения.

Принципы схематизации подобного рода сложной ситуации рассматриваются в картографии. Большое внимание этому вопросу уделено в гидрогеологии, в частности общие требования к такому моделированию изложены в работах В. А. Мироненко и В. М. Шестакова. Эти требования могут быть использованы и при инженерно-геоэкологическом картографировании.

Содержание картографических моделей геологической среды рассмотрено в разд. 1.3. Подразумевается создание таких картографических моделей, информация которых подчеркивает именно те свойства ПТС, которые необходимы при прогнози-

ровании ее изменений и разработке мероприятий по управлению ими. По мере накопления информации происходит уточнение типизации всех составляющих модели, увеличение ряда элементарных типологических моделей состояния геологической среды при разных видах и стадиях техногенного воздействия на нее. Первоочередной задачей разработки таких моделей является количественная оценка изменений отдельных компонентов среды (литологический состав, рельеф, подземные воды и т. д.) под влиянием конкретных техногенных нагрузок.

При оценке инженерно-геоэкологической ситуации в том или ином регионе важно определить устойчивость геологической среды к техногенным нагрузкам. Разработка критериев определения такой устойчивости — другая важнейшая задача становления нового направления. Эти критерии необходимы для выяснения предельно допустимых нагрузок на геологическую среду и разработки оптимальных мер по ее защите.

Различные определения и трактовки понятия «устойчивость» по отношению к природным или природно-техническим системам — предмет длительной дискуссии среди географов. В работах М. А. Глазовской, В. С. Преображенского, А. Ю. Ретеюма, А. В. Дончевой и других исследователей основное внимание уделено именно природной среде, ее способности восстанавливать нарушенные свойства и функции или нейтрализовать причиненные элементы-загрязнители.

Для оценки устойчивости геологической среды к инженерно-хозяйственному воздействию Г. А. Голодковская и Л. И. Демидюк ввели понятие «инженерно-геологический потенциал» территории, под которым подразумевается комплекс свойств геологической среды, определяемый составом, структурой и состоянием всех ее компонентов: горных пород, подземных вод, геологических процессов. Вклад каждого из этих компонентов в общую устойчивость территории зависит от характера ее хозяйственного использования и инженерно-геологических особенностей при приоритете последних.

Критерии, определяющие устойчивость или инженерно-геологический потенциал территории, для различных промышленных регионов и природных зон заметно различаются. Для зоны развития многолетнемерзлых пород, лёссовых равнин и горных стран набор критериев устойчивости геологической среды также в каждом случае свой. Все эти критерии могут оцениваться количественно: для зоны вечной мерзлоты — ее мощностью, температурой и льдистостью грунтов; для районов с расчлененным рельефом — морфометрическими характеристиками и показателями устойчивости склонов; для лёссовых территорий — грациями просадочности или мощности лёссового покрова. Как правило, при оценке устойчивости системы все эти критерии суммируются.

Три способа оценки устойчивости среды по отношению к физическому, химическому и биологическому видам техногенно-

го воздействия предлагают В. Ф. Котлов и Г. Л. Кофф. Первый, «экономический», способ основан на учете стоимости предостроительной подготовки и инженерной защиты территории или затрат на компенсацию ущерба, наносимого процессами реакции среды на ее инженерное преобразование. Второй, «энергетический», заключается в подсчете для некоего «объема литосферы» баланса энергии, связанного с устойчивостью этого объема во времени и пространстве. И, наконец, в расчет могут приниматься геологические процессы территории («геодинамический» способ). Сходный с последним подход был использован нами для оценки состояния среды (см. гл. 2).

И все же методика типизации среды по ее устойчивости к внешнему воздействию разработана недостаточно, а оценка этого свойства территории не выходит за рамки качественной. Нередко, правда, при классификации устойчивости вводят различного рода шкалы балльности. Такой подход был предложен В. Т. Трофимовым при сравнительной оценке сложности инженерно-геологических условий различных районов Западно-Сибирской плиты.

Как уже отмечалось, одна из главнейших теоретических задач инженерной геоэкологии — изучение взаимодействия геологической среды с другими, активно контактирующими с ней средами. Результаты этого взаимодействия могут быть представлены в виде матрицы отношений, в которой строчки представляют типовые формализованные модели среды, а колонки — модели видов техногенного воздействия. Реакция геологической среды отражена на пересечении строчек и колонок в виде перечня процессов с соответствующими количественными уточнениями.

При анализе антропогенных процессов, протекающих в геологической среде, важно учесть также их временные закономерности, когда первичный процесс спонтанно тянет за собой цепочку парагенетически связанных с ним и последовательно взаимообусловленных процессов. Так, под влиянием интенсивного водоотбора в ряде центральных районов европейской части СССР наблюдается заметное снижение уровней подземных вод эксплуатируемых горизонтов. Вслед за этим уменьшаются агрессивность и гидродинамический напор вод, что способствует образованию провальнo- и суффозионно-карстовых воронок на поверхности. В ряде мест изменяются также режим грунтовых вод, а следовательно, нарушаются процессы эволюции болот, почвенной эрозии, питания рек и озер.

Геоэкологические изменения происходят достаточно быстро и требуют непрерывного наблюдения за состоянием геологической среды и систематического контроля ситуации на принципах мониторинга, пополнения и уточнения создаваемых моделей, которые в этом случае будут относиться к классу постоянно действующих. Для информационного обеспечения таких моделей можно использовать многие традиционные методы инженерной геоло-

гии, отдавая предпочтение дистанционным методам зондирования среды с аэрокосмических носителей, а также методам имитационного и математического прогнозного моделирования с использованием современных ЭВМ.

Прогнозирование изменений природной среды — наиболее важный момент инженерно-геоэкологических исследований. Оно регламентировано многими инструкциями и методическими указаниями по инженерно-геологической съемке и изысканиям. В качестве примера можно привести Строительные нормы СН 225—79, которые предписывают при инженерно-геологических изысканиях не ограничиваться изучением современного состояния геологической среды, а завершать работы прогнозом ее изменений с обоснованием способов защиты территории от нежелательных геологических процессов. И другой пример: при проектировании объектов широко используются природоохранные нормы и правила (ПНиП), регламентирующие строительство с целью его экологической оптимальности. Такое регламентирование требует также инженерно-геоэкологического прогнозирования, результаты которого служат основой для обоснования такой оптимальности.

Таким образом, новое, инженерно-геоэкологическое, направление исследований ставит целый ряд сложных проблем, требующих решения. Мы находимся у самых его истоков, когда практика, определяемая современными задачами развития народного хозяйства страны и экологической политикой общества, опережает теорию, накапливая факты «проб и ошибок», которые необходимы для разработки теории и конкретизации ряда методологических установок.

## **1.2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА И ЕЕ МЕСТО СРЕДИ ДРУГИХ ОБОЛОЧЕК ЗЕМЛИ**

В инженерной геологии широко используется определение, предложенное Е. М. Сергеевым: геологическая среда — это любые горные породы, которые слагают верхнюю часть литосферы и рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека [30]. Физический смысл и содержание геологической среды раскрыты Г. К. Бондариком, который считает, что она представляет собой минеральное вещество, находящееся в твердом, жидком и газообразном состоянии, и присущие ему физические поля. Как правило, это трехфазная система, которая состоит из твердого минерального вещества горных пород, в том числе органического происхождения, воды или других жидких компонентов (например, жидкие углеводы), а также газов, присутствующих в породе и трещинах твердой фазы или растворенных в подземных водах.

В современном понимании геологическая среда имеет вполне четкую верхнюю границу — поверхность рельефа. Нижняя

граница непостоянна, и ее пространственно-временное положение зависит от многих факторов, и в первую очередь — от характера техногенного воздействия. Если оценивать это понятие в целом, то оно называет объект исследования, но не дает представления об его границах.

Приступая к изучению и моделированию геологической среды любой территории, необходимо прежде всего определить границы изучаемого пространства, так как от правильности определения зависят эффективность и стоимость работ.

Практика условного ограничения изучаемого пространства по принципу «круглых чисел» (например, до глубины 10—15 м) или путем выделения активной зоны под сооружением глубиной 20—30 м [35] при инженерно-геоэкологическом моделировании неприемлема. Глубина освоения подземного пространства промышленно развитых территорий в наше время значительно больше. Необходимо учитывать подземные работы, не только характерные для собственно городских или промышленных территорий, но и проводимые вне их (горные выработки, внешние водозаборы, транспортные туннели и др.).

При определении нижней границы геологической среды следует учитывать весь спектр геологических процессов, вызываемых инженерно-хозяйственной деятельностью человека и влияющих на инженерно-геологические условия строительства и эксплуатации сооружений, а также жизнедеятельность населения региона. Такая зона достаточно объективно выявляется геологическими методами, так как все процессы, протекающие в геологической среде, пространственно обусловлены ее геологическим строением, геоморфологией и гидрогеологическими условиями.

Геологическая среда — часть геосфер и находится в них в постоянном энерго- и массообмене, без учета которого нельзя познать механизм протекающих в ней геологических процессов и прогнозировать их развитие. Рассмотрим, как соотносится геологическая среда с другими природными оболочками и прежде всего с биосферой.

В 1883 г. Э. Зюсс впервые употребил термин «биосфера», подразумевая под ним некую оболочку, вмещающую совокупность живых организмов на Земле. Выделяя литосферу, гидросферу и атмосферу, Э. Зюсс рассматривал биосферу как особую область, захватывающую все земные оболочки.

Предложив этот термин, впоследствии получивший широчайшее распространение, Э. Зюсс не дал его точного определения, и лишь В. И. Вернадский сформулировал концепцию, которая ныне стала методологической основой изучения взаимоотношений человека и окружающей среды. По В. И. Вернадскому, биосфера представляет собой верхнюю оболочку, или геосферу, одной из больших концентрических областей нашей планеты — земной коры, а ее пределы обусловлены прежде всего полем существования жизни [3]. Это определение и было принято

большинством современников В. И. Вернадского. Не устарело оно и в наше время. Выделяя биосферу, В. И. Вернадский рассматривал ее как механизм, преобразующий лик Земли и формирующий геологическую основу земной коры. Эта позиция имеет принципиальное значение при рассмотрении и определении места материальной культуры человека или искусственной среды в системе земных сфер.

Биосфера обязана своим появлением зарождению (около 3 млрд. лет назад) и развитию растительной и белковой жизни. Она захватывает (но не включает целиком) все оболочки Земли: литосферу, гидросферу и атмосферу. Биосферу иногда образно представляют в виде «живой пленки» планеты. Критикуя неконкретность этого распространенного понимания биосферы, Б. С. Соколов дал более емкое определение биосферы как системы, включающей на равных основаниях и живые сообщества, и все неорганические компоненты их жизни. Верхняя граница биосферы удалена от поверхности Земли примерно на 15 км, а нижняя проходит на глубине около 5 км. Эта глубина примерно равна глубине геологической среды в нефтедобывающих районах. Таким образом, геологическая среда может рассматриваться как литогенная часть биосферы.

В литературе можно также встретить понятия «географическая сфера» и «географическая оболочка». Как и биосфера, географическая оболочка нитразональна по отношению к трем физическим сферам Земли и, по определению А. А. Григорьева, ее границы проходят там, где взаимодействие атмосферы, литосферы, гидросферы и биосферы перестает существенно, прямо или косвенно, сказываться на протекающих в атмосфере или литосфере процессах. По Ф. Н. Милькову [26], географическая сфера включает 10-километровый слой тропосферы, считая от уровня Мирового океана, и литосферу до глубины 12 км, т. е. и в этом случае геологическая среда может рассматриваться как часть географической среды. Географическая оболочка нередко разбивается на зоны, охватывающие те или иные природные компоненты или их сочетания. Так, Ф. Н. Мильков выделяет ландшафтную зону, которую делит на эктоярус (рельеф, растительность и почвы), мезоярус (кора выветривания в зоне аэрации) и эндоярус (кора выветривания ниже уровня грунтовых вод). Это деление можно использовать при изучении геологической среды, прогнозируя, например, последствия водопотребления, сопровождающегося снижением уровней грунтовых вод и изменением почвенно-растительного покрова.

Довольно часто в литературе можно встретить также понятие «географическая среда», предложенное в 1876 г. Э. Реклю. Географическая среда — это та часть живой и неживой природы, которая вовлечена на данном историческом этапе в процесс общественной жизнедеятельности и является необходимым условием существования и развития общества (растительный и животный мир, земная кора, нижняя часть атмосферы, гидросфе-

ра, почвенный покров). Как видим, это понятие перекликается с понятием «окружающая среда».

Вообще в первые десятилетия XX в. появилось довольно много определений области взаимовлияния среды и человека: здесь и «антропосфера» Д. И. Анучина, и «сфера разума и понимания» Дж. Меррея, и «социосфера» Ю. К. Ефремова и Э. Нефеа, и их модификации — «социогосфера», «ноогосфера», «стихносфера», «ноотехногосфера» и др.

Особо остановимся на весьма важном понятии «ноосфера», предложенном в 1926—1927 гг. Э. Леруа и П. Тейяр де Шарденом. По их определению, ноосфера — синоним понятия «царство человеческого разума». При выделении ноосферы они опирались на лекции В. И. Вернадского о формировании «сферы разума» в биосфере, возникшей на определенном витке эволюции, но облекли эту новую область в туман мистики.

Впоследствии В. И. Вернадский дал четкое и недвусмысленное толкование ноосферы. В настоящее время ноосфера включает ту область планеты, которая охвачена разумной деятельностью человека, изменяется им и служит предметом охраны. К ноосфере можно отнести и ту область космического пространства, куда проникали космические зонды, созданные руками человека. Геологическая среда — изменяемая и реконструируемая человеком часть литосферы — является частью ноосферы. Выделяя геологическую среду как самостоятельную систему, мы искусственно отделяем человека от природы, а технику и разум человека от сил эволюции природы. Это разделение с позиций гносеологии, изучающей взаимоотношение объекта и субъекта в процессе познавательной деятельности, вполне правомерно и не противоречит марксистско-ленинской концепции признания качественных различий между двумя названными формами объективной реальности, тем не менее в нем заложена определенная условность. Техногенные изменения среды и изменения, вызванные ее естественным развитием, нередко невозможно разделить. Учение о ноосфере как области пространства, где человек и природа рассматриваются как единое целое, а эволюция среды и разумное управление ее развитием слиты в единый процесс, позволяет подойти к реализации концепции построения такой «сферы разума», в которой удовлетворение потребностей человечества могло бы оптимально сочетаться с сохранением близкого к естественному состояния среды.

Геологическая среда с позиций системного анализа является открытой системой. Изучая процессы ее изменения и эволюции, мы вынуждены прибегать к приемам квантования, когда целостные поля свойств искусственно делятся на части, на чем и основывается анализ всей системы.

И еще одно условие инженерно-геоэкологического анализа: геологическая среда рассматривается только в совокупности с техносферой. Искусственная и естественная составляющие ланд-



шафта (природно-технической системы) неразрывны в своем взаимодействии. Функциональное назначение объектов техносферы во многом определяется средой, а изменения среды обуславливаются созданием и эксплуатацией этих объектов

В процессе инженерной подготовки территории, строительства, энергетического воздействия объектов техносферы и энергорезонанса геологической среды между ними неминуемо возникает зона, где естественная и искусственная составляющие столь тесно энергетически и физически взаимосвязаны, что по форме и по существу представляют собой единое образование, развивающееся по своим законам, отличающимся от законов естественной эволюции природных систем и от законов эксплуатации технических средств производства и жизнеобеспечения.

Изучение геологической среды промышленных регионов, и прежде всего территории городов, имеет ряд особенностей. Главные из них продиктованы двумя факторами — энергетическими связями с техносферой и формированием между геосферой и техносферой буферной зоны, где искусственная и естественная составляющие весьма близки между собой по объемам заполнения пространства

Несмотря на общее признание тезиса соизмеримости сил человека и геологических сил, искусственная составляющая материального мира в большинстве случаев рассматривается отдельно от природной, и ее место в классических земных сферах не определено. Широко используемые термины «техносфера», «техногенез» и «техногенные геологические процессы», предложенные А. Е. Ферсманом, сейчас толкуются более широко и не всегда однозначно. А. Е. Ферсман под техногенезом понимал результат геохимического воздействия промышленности, а сейчас этим термином часто называют весь комплекс геологических (в том числе геохимических и гидрохимических) процессов, вызванных деятельностью человека в литосфере. Разнообразнейшая инженерно-хозяйственная деятельность человека привела к почти глобальным изменениям в энерго- и массопереносе и формированию искусственной оболочки, которую все чаще называют техносферой. Уже сейчас можно сказать, что почти на всей суше человек создал «пленку» своей культуры города, аграрные и промышленные ландшафты, водохозяйственные системы, мелиорируемые земли и т. д. В начале XXI в., согласно прогнозам, большая часть человечества будет жить в условиях урбанизации, что еще больше увеличит потребности в изучении именно городских и промышленных условий эволюции геологической среды

Существует немало определений термина «техносфера» и множество примеров его использования для обозначения именно искусственной составляющей среды. Ряд исследователей включает техносферу в состав геологической среды, а геологическую среду (или часть ее) в состав техносферы. О. Н. Толстихин рассматривает искусственные объекты и их геологический

фундамент как одну систему. При этом технологические объекты (технологическое ядро, по терминологии О. Н. Толстихина) играют роль источника технологического возмущения и представляют собой совокупность искусственных сооружений, производственных процессов, технических средств и орудий труда И Крхо (ЧССР) делит геологическую систему на природную и антропогенную составляющие, не отрицая автономности этих двух субсистем. Прямо противоположна точка зрения С И Горшкова, который считает, что геологическая среда входит в состав более обширной области, именуемой техносферой [10].

В любом случае очевидно, что геологическая среда и техносфера имеют тесные энергетические связи, а сама техносфера, по В. И. Вернадскому, служит «механизмом» формирования кровли литосферы. Наиболее удачное, на наш взгляд, определение понятия «техносфера» дал И. В. Круть. Он предложил рассматривать ее как материальную составляющую социосферы, уточняя при этом, что «техно» означает все искусственное [23]. С позиций инженерной геоэкологии дадим следующую формулировку техносфера — это материальный результат инженерно-хозяйственной деятельности человека на Земле, т. е. искусственные материальные объекты, строительство и функционирование которых отражается на состоянии вмещающей геологической (природной) среды. Позиция некоторых ученых, которые включают искусственную среду в состав геологической, представляется эклектичной из-за смешения таких категорий как социосфера и естественные геосферы.

Признавая возможность рассмотрения техносферы и геологической среды в виде единой системы, мы все же разделяем их в нашей классификации сфер из-за принципиального различия как объектов, поскольку один из них принадлежит к категории естественных образований, а другой — искусственных. Выделяя человека из окружающей его среды, логично отделить и ту функционирующую среду, которая им создана.

Разделение техносферы и геологической среды вызывает и разделение факторов-причин и факторов-следствий целого ряда геологических процессов. Это противоречие устраняется с вводом понятий «природно-технические (или природно-техногенные) системы», «природно-территориальные комплексы» и «био-социальные системы», которые обосновали и широко применяли В. В. Докучаев, Л. С. Берг, А. Л. Грингорьев и многие другие ученые. Использование общей теории систем позволило обосновать закономерности энергообмена, структурные особенности и развитие ПТС.

Природно-технические системы, имея более или менее четкие границы и обладая довольно сложной структурой, могут делиться на элементарные системы, подсистемы и элементы систем. Вместе с тем, имея разветвленную сеть внешних энергетических и информационных связей, они организуются в региональные полисистемы и даже глобальную надсистему, от ко-

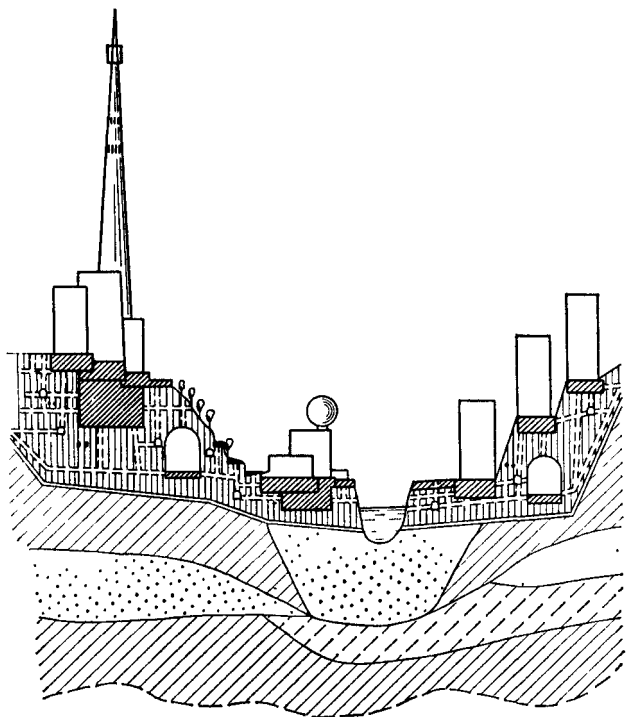


Рис. 1. Положение контазоны (показана вертикальной штриховкой)

торой зависят глобальные процессы изменения в атмосфере и фитогеосфере.

Геологическая среда и техносфера особенно тесно контактируют на урбанизированных территориях. Отличительной чертой промышленных регионов является формирование своеобразной зоны в верхних слоях геологической среды. В этом пространстве, названном нами контазоной<sup>1</sup> (рис. 1), природные геологические образования частично замещены антропогенными накоплениями и инженерными сооружениями. Природные и искусственные элементы находятся здесь в столь тесном контакте, что по сути составляют одно полуприродное-полуискусственное тело. Протекающие в этой зоне инженерно-геологические процессы подчинены и природным ритмам, и технологическим (функциональным) циклам. Водный, радиационный, температурный, шумовой и вибрационный режимы контазоны преобразованы техносферой, а многие геофизические поля могут считаться наведенными. Техногенная составляющая контазоны еще не столь значительна, чтобы причислить последнюю к категории

<sup>1</sup> Контаминационная зона (лат. *contaminatio* — активный контакт, смешение, взаимопроникновение).

«искусственных сред», но уже вполне весома для того, чтобы выделить ее из категории природных геологических образований. В свое время мы называли такую область пространства технолитозоной [13], а В. Ковальский [36] зону перехода естественной составляющей ПТС в искусственную называл трансформированной инженерно-геологической средой.

Выделение контазоны совершенствует наши представления о состоянии геологической среды и имеет большое практическое значение. До сих пор многие геологические, инженерно-геологические, ландшафтные и геоморфологические карты урбанизированных и других освоенных территорий составляют так, будто между техносферой и литосферой существует четкая граница (поверхность рельефа). На картах четвертичных отложений в пределах городов часто отмечают покровные образования, которых там практически не осталось. В то же время не картируют более мощные антропогенные литологически пестрые наслоения. Такие процессы, как оползни, эрозия и карст, показанные на этих картах отождествляются с их природными аналогами за пределами города. Это влечет ошибки в методике изучения и прогнозирования городских геологических процессов, законы развития которых в полуискусственной среде часто не сопоставимы с законами их естественной эволюции.

Выделение контазоны имеет и методологическое значение. Ее состав, структура и энергетическое поле во многом определяют условия зарождения, развития и угасания геологических процессов.

В контазоне можно выделить реконструированные и нарушенные участки, если пользоваться устоявшимся представлением, что процессы реконструкции среды позитивны, а нарушения негативны. Контазона формируется путем заглубления инженерных сооружений, перемещения масс грунта, создания новых геологических условий (морфология, обводненность, температурный режим и т. д.). Общая для урбанизированных территорий тенденция активного использования подземного пространства еще более увеличивает значимость контазоны в структуре геологической среды.

Необходимы специальные исследования и постоянный контроль состояния контазоны, так как ее нарушения вызывают геологические процессы, интенсивность которых может превышать интенсивность их природных аналогов, причем последствия могут оказаться катастрофическими.

Инженерно-геоэкологические исследования требуют специализированного изучения нового для геологов сложного объекта — техносферы. Техногенное воздействие — такой же фактор геологических процессов, как неотектонические подвижки и силы гравитации, и изучать его надо наравне (а в ряде случаев и более детально) с природными причинами этих процессов. Сказанное отнюдь не означает, что инженерно-геологические процессы локализуются в пределах контазоны. Более того, из-

вестны процессы (например, карстовые), происходящие в глубоких горизонтах геологической среды, причиной которых служит техногенное возмущение локального характера. Однако во всех случаях прогнозирование и контроль за ними невозможны без знания структуры контанзоны, ее энергоактивности, источников загрязнения и состава веществ-загрязнителей.

В мировой практике современного градостроительства прослеживается тенденция освоения все более глубоких сфер городской среды. Подземные транспортные коммуникации, пешеходные магистрали, гаражи, склады и лечебные комплексы создают особую сферу под городскими кварталами. Проблема изучения этой новой сферы проста. Здесь соседствуют искусственные образования, играющие роль почвообразующих пород и оснований для городских строений, а также естественные природные формирования, все процессы которых подчинены технологическим циклам. Теория развития такого своеобразного феномена требует разработки.

### **1.3. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

Геологическая среда и происходящие в ней под влиянием деятельности человека изменения — один из наиболее сложных объектов исследования в геологии. Проблемы рационального использования и охраны геологической среды привлекают внимание геологов, географов, экологов, почвоведов, архитекторов, экономистов и социологов. Геологические аспекты изучения и оценки изменений среды при антропогенном воздействии на нее достаточно разнообразны и включают как общие теоретические проблемы, связанные с происходящим при этом воздействии перераспределением вещества и энергии, так и практические задачи, такие как рациональное использование и охрана недр, защита подземных вод от истощения и загрязнения, оценка влияния сооружений и инженерной деятельности на состояние и свойства геологической среды и т. д. Учет взаимосвязи этих аспектов при прогнозировании состояния геологической среды обязателен, как обязательно привлечение экономических и социальных критериев для комплексного решения проблемы. Мы ограничимся рассмотрением только инженерно-геологических аспектов проблемы.

Влияние геологической среды на строительство и поведение инженерных объектов изучено в инженерной геологии довольно хорошо. Все большее внимание специалистов привлекает и инженерно-хозяйственная деятельность, вызывающая изменения в геологической среде и экологической обстановке в целом. Важность и актуальность изучения этих изменений послужили причиной во многом стихийного становления инженерно-геоэкологического направления особенно за последние 10—15 лет. Однако вопросам геоэкологии уделяется пока мало внимания.

Трудности здесь заключаются в чрезвычайно большом разнообразии типов геологической среды и технологии вмешательства человека в ход природных процессов, в слабой изученности механизма и динамики процессов техногенеза и последствий техногенного вмешательства. Для изучения ПТС следует привлечь хорошо продуманную систему информационного обеспечения и отражения информации, определить способы прогнозирования с учетом его регионального характера и комплексности.

Интенсивное инженерно-хозяйственное освоение территории все еще нередко осуществляется без надлежащего учета возможных изменений геологической среды, что ведет к ошибкам проектирования и экономическим потерям и связано с экологическим, не всегда восполнимым, ущербом. Проявления инженерно-геологических процессов, неблагоприятно влияющих на условия строительства и функционирование ПТС, могут быть весьма ощутимыми, а защитные мероприятия в условиях плотной застройки территории требуют больших капиталовложений и ведут к экологическому дискомфорту.

Главное методологическое условие изучения геологической среды в сегодняшней экологически тревожной ситуации заключается в системности построения базовой модели. Специальные инженерно-геологические карты несут информацию о техногенных изменениях условий, но обычно не анализируют факторы-причины этих изменений. Единая ПТС искусственно разделяется: один ее компонент — литосфера — изучается геологами, а другой — техносфера — специалистами других отраслей (и других ведомств).

Инженерно-геоэкологические исследования необходимо строить на иной основе. Базовая модель геологической среды должна отражать отношения в системе «человек (в более узком понимании — техносфера) — геологическая среда». Геологическая среда и техносфера, инженерно-геологические процессы и характер инженерно-хозяйственной деятельности человека следует изучать одинаково глубоко и детально.

Наибольшую тревогу вызывает функциональная замкнутость системы «общество — природа», поскольку любое преобразование природы и потребление природных ресурсов возвращается к нам в виде не всегда предсказуемого обратного воздействия на условия жизнеобитания общества.

Геологическая среда, растительность, почвы и поверхностные воды соединены друг с другом бесчисленным множеством массо- и энергосвязей. Раздельное изучение этих компонентов биосферы ведет в тупик. В книге «Экологическое знание и сознание» А. Н. Кочергин, Ю. Г. Марков и Н. Г. Васильев убедительно доказывают, что при разработке конкретных методов и форм управления состоянием окружающей природной среды за основу должен быть принят *функциональный подход*. Именно он заставляет учитывать многообразие и взаимообусловленность процессов антропогенного воздействия на природу.

Предлагаемая ниже структура картографической модели геологической среды отвечает принципам функционального подхода, если учесть, что состав входящих в нее карт подобран так, чтобы отразить взаимодействие лито- и техносферы с поверхностными водами, почвами и растительностью, приповерхностной частью атмосферы.

Вместе с тем рассматриваемая модель не претендует на универсальность. За универсальную можно принять гипотетическую модель общей экологической ситуации. При этом геологическая среда составляет лишь ее часть. Однако эта часть рассматривается не в отрыве от универсальной модели, а с учетом того, что процессы, происходящие в геологической среде, оказывают прямое или опосредствованное влияние и на почвы, и на растительность, и на поверхностные воды, а в конечном счете на экологическую обстановку в целом.

Такой комплексный подход к рассмотрению одного из компонентов среды не отвергает необходимость создания таких же моделей функционирования других ее компонентов, а скорее наоборот, облегчает задачу перехода от дискретного изучения составляющих среды к моделированию ее как единой системы.

Нельзя согласиться с мнением, что попытки построения и внедрения в практику моделей, в которых представлены лишь факторы одного уровня, заведомо обречены на провал [21]. Так, в ряде городов страны функционируют и дают практические результаты (в виде рекомендаций, заключений) автоматизированные информационные системы постоянно действующих моделей геологической среды. При этом в основном решаются задачи гидрогеологического характера, но это не умаляет практической ценности модели. Усовершенствование и расширение сферы использования подобных моделей представляется более реальной задачей, чем построение универсальной экологической модели сразу, без промежуточных этапов подготовки

Моделирование сложной природно-технической подсистемы требует ее генерализации и типизации по некоторому постоянному ряду критериев.

Такая типизация позволяет искусственно конструировать самые разнообразные природные и природно-технические условия или ситуации. Каждый тип растительности, геологической среды, техносферы является как бы модулем модели, легко перемещаемым в моделируемом пространстве.

Та же типизация пространства, разделенного на естественную и искусственную составляющие, позволяет перейти к типизации характера и интенсивности воздействия активной техносферы, с одной стороны, и типизации вида и инерционности ответной реакции геологической среды, с другой. Набор ряда типов среды всегда конечен, но возможности его детализации и продолжения не имеют ограничений. На основании типовых признаков можно оценить устойчивость, или латентность, сре-

ды практически в любой точке региона, что будет показано при описании эксперимента в пределах Московской области.

Контроль за довольно сложной и быстро меняющейся ситуацией при активном влиянии техносферы на геологическую среду в целом и на ландшафт в частности требует использования таких методов наблюдения, которые могли бы в сравнительно короткий период времени охватить ситуацию во всем регионе. Кроме того, такой пространственный обзор должен регулярно повторяться, чтобы представить всю картину изменений в динамике. Этим условиям удовлетворяют аэрокосмические методы зондирования среды, положенные в основу системы мониторинга.

Систематические наблюдения за природной (геологической) средой, дешифрирование большого числа снимков, прогнозное моделирование, предоставление информации о состоянии природной среды, систематическое уточнение прогнозов и рекомендаций по управлению состоянием геологической среды невозможны без использования быстродействующих ЭВМ.

Таким образом, общий методологический подход к инженерно-геоэкологическому изучению геологической среды определяется достаточно четко. Он основан на представлении о тесных массо- и энергосвязях геологической среды с другими природными и техногенными средами, требующем системного изучения составляющих эти среды компонентов. В схематизированном виде последовательность этого изучения такова: 1) анализ информации о строении геологической среды и инженерно-хозяйственном воздействии на нее; 2) анализ выявленных, т. е. уже существующих, изменений в каждой природно-технической геосистеме; 3) оценка и прогноз техногенных изменений; 4) контроль за состоянием геологической среды с учетом динамики развития техносферы; 5) уточнение прогнозов и осуществление мероприятий по управлению геологической средой. Такой подход определяет содержание и методы инженерно-геоэкологических исследований на базе типизации (типологическом районировании) среды, процессов как основной форме моделирования; использовании быстродействующих вычислительных средств при моделировании, обработке, хранении и передаче информации; применении дистанционных экспресс-методов в качестве главного канала информационного питания модели.

### **Этапы исследований, их задачи и содержание**

Инженерно-геоэкологическое изучение промышленных регионов, как, впрочем и других территорий, строится на принципах мониторинга и включает контроль и оценку состояния геологической среды, прогноз ее изменений во времени и пространстве, рекомендации по рациональному использованию, охране и восстановлению утраченных свойств и ресурсов. Решение этих за-



дач может быть обеспечено довольно сложно построенной информационной системой (табл. 1). Создание и функционирование геоэкологического мониторинга (мониторинга геологической среды и техносферы) требует определенной последовательности работ, которые можно объединить в три этапа: подготовки, создания и функционирования системы.

Задача первого этапа — отработка общей концепции намечаемых работ, концептуальной модели системы. Этот этап включает изучение опыта построения информационных систем в разных природно-экономических регионах и для различных целей, сбор и систематизацию материалов о составе, строении и состоянии геологической среды и инженерной нагрузке на нее; выбор и обоснование факторов, определяющих функционирование ПТС в конкретных условиях; разработку методики наземных и дистанционных работ, программного обеспечения математических моделей. Состав этих работ, на первый взгляд, традиционен для инженерно-геологических исследований, однако здесь есть своя специфика, которую хотелось бы отметить. В большинстве случаев территория промышленных регионов достаточно хорошо изучена, а сбор и систематизация имеющейся информации представляется лишь трудоемкой, но методически несложной задачей. На практике, однако, дело далеко не так. Материалы разновременных (иногда разделенных десятилетиями) исследований, выполненных по разным методикам, обобщенные и проинтерпретированные с учетом различных, меняющихся со временем геологических, геоморфологических, гидрогеологических и геодинамических концепций, требуют серьезной проработки для оценки их достоверности и достаточности. При этом следует иметь в виду, что если при оценке изученности региона для организации традиционных инженерно-геологических изысканий многие предшествующие работы часто представляют только исторический интерес, то в инженерно-геоэкологических исследованиях содержащаяся в этих работах информация чрезвычайно важна и должна быть проанализирована особенно тщательно. Подобная информация необходима для ретроспективного анализа состояния среды и прогнозных оценок с помощью методов геологических аналогий.

Вторая особенность этого типа работ связана с необходимостью столь же тщательного анализа инженерной нагрузки на геологическую среду, ее пространственно-временной динамики.

Систематизация имеющейся информации позволяет решить две важнейшие методические задачи: 1) определить состав и содержание информации, необходимой для функционирования мониторинга; 2) обосновать выбор ключевых (базовых) участков для проведения режимных наземных и дистанционных наблюдений. Решению второй задачи помогает то обстоятельство, что для промышленно освоенных, урбанизированных территорий, как правило, имеются материалы аэро- и космической

**Структура инженерно-геологических исследований  
и геоэкологического мониторинга**

Этапы работ	Задачи	Виды, методы, приемы информационного обеспечения
Подготовительный	Разработка методики исследований	Систематизация опыта информационного обеспечения, сбор информации о геологической среде и техногенной нагрузке на нее; создание концептуальной модели системы, разработка методик аэрокосмического зондирования, составления макетов картографических моделей и программного обеспечения математической модели
Создание информационной базы	Создание банка данных об инженерно-геоэкологических условиях системы  Выбор эталонных участков для геоэкологического мониторинга  Непрерывное информационное обеспечение системы (пополнение банка данных)	Специальные инженерно-геологические исследования (дешифрирование материалов дистанционных съемок прошлых лет, наземные исследования), составление картографических моделей геологической среды и техносферы, обеспечение информацией и реализация на ЭВМ математических моделей геологической среды  Базовая аэросъемка региона, типизация техногенных воздействий и геологической среды  Повторные аэрокосмические съемки, наземные режимные наблюдения, обработка литературных (в том числе фондовых) материалов
Функционирование системы	Моделирование изменений природно-технической геосистемы  Оценка, прогноз, рекомендации по рациональному использованию	Построение картографических моделей состояния геологической среды (дежурных карт) и прогнозных карт геоэкологической ситуации (в том числе машинных карт), имитационное моделирование (математическое, физическое и др.)  Обеспечение информацией заинтересованных ведомств и организаций, геоэкологическая экспертиза проектов, составление заключений о состоянии геологической среды и о допустимой инженерно-хозяйственной нагрузке на нее, разработка рекомендаций по управлению состоянием геологической среды

фотосъемки за длительный период времени. Дешифрирование этих материалов позволяет определить общую динамику ландшафтных изменений и физиономические (деципнетные) свойства ландшафта. Методика работ с аэро- и космическими фотоснимками для контроля за состоянием геологической среды достаточно хорошо описана в работах С. В. Викторова [4], И. С. Комарова [18], Е. А. Востоковой, В. М. Валяха [2], Ю. Б. Елисеева, А. В. Садова и др.

Особенно следует подчеркнуть необходимость разработки на этом этапе исследований программного обеспечения комплекса математических моделей, имитирующих состояние геологической среды. Примеры такого рода моделирования приведены в работах Л. К. Гохберга [25], Ю. О. Зеегофера [14], А. Н. Клюквина [16], И. С. Пашковского и А. А. Рошаля [25].

Методология мониторинга среды, как бы ни была она хорошо продумана, требует обязательной апробации не только геологами и специалистами смежных научных отраслей, но и проектно-изыскательскими организациями, институтами и трестами системы городских и областных архитектурных управлений, планирующими органами, Комитетом по охране природы. Информационная система должна учитывать требования потенциальных потребителей ее выходной информации, а в идеале опережать эти требования. Задача второго этапа исследований — создание информационной системы, т. е. комплекса моделей, характеризующих реальное состояние геологической среды, техносферу и их взаимодействие. Форма обобщения информации при этом может быть различной, но приоритет в настоящее время принадлежит картографическим моделям. Как ни быстр и удобен способ машинного моделирования, с его помощью невозможно создать зримую полифункциональную генерализованную модель столь сложного объекта как природно-техническая геосистема. В геологических науках картографические модели — традиционный вид отражения информации. За многие десятки лет создания и усовершенствования карты приобрели уникальные качества информационной емкости и наглядности, пластичности подачи информации от конкретной фактической обстановки до логически осмысленной ситуации.

Составляемые картографические модели должны отвечать требованиям целостности и общности картины с детализацией частных, отражения состояния геологической среды и техносферы на всю глубину выделенного пространства. Их состав и содержание подробно рассмотрены в следующем разделе.

Одновременно с картографическими на ЭВМ реализуются математические модели, например имитационная геофильтрационная, геодинамическая, гидрохимическая и др. Опыт показывает, что для создания картографических и математических моделей геологической среды и ее взаимодействия с техносферой обычно недостаточна та информация, которая имеется по территории региона, и необходимы данные специальных инже-

нерно-геоэкологических исследований. Подобные исследования включают комплекс дистанционных и наземных работ, объемы и программа которых определяются изученностью геологической среды. Отметим лишь, что для промышленных регионов целесообразно провести базовую аэрофотосъемку всей территории. Она даст возможность создать эталонную фотомодель (целостную или по выбранным участкам), от которой затем можно с большой объективностью вести отсчет и измерение происходящих в природной среде изменений. Наземные наблюдения следует выполнять методом ключевых участков, выбранных на основе предварительного изучения территории.

Созданная картографическая модель отличается от инженерно-геологических карт, построением которых завершаются традиционные виды соответствующей съемки территории. Она значительно объемнее и по информации, и по пространственным параметрам моделируемого тела, а главное, отличается по своему назначению. Картографическая модель геологической среды создается не столько для освещения состояния объекта, сколько для отражения происходящих в нем изменений. Из этого принципиального условия закономерно вытекает необходимость постоянного пополнения модели. Отразить динамику природно-технической геосистемы может только динамичная информационная система.

Создание информационной базы и реализация математических моделей могут считаться началом следующего этапа — функционирования информационной системы, или геоэкологического мониторинга. Его рабочее состояние обеспечивают информационные подсистемы получения, хранения, обработки данных и представления информации в удобном для потребителя виде.

Подсистема информационного обеспечения работает на принципах мониторинга, т. е. практически непрерывно. Основными способами получения новой информации служат методы дистанционного зондирования и наземных режимных наблюдений. Могут сочетаться способы визуального дешифрирования аэро- и космических фотоснимков с машинными и машинновизуальными. Отличительная особенность работ с аэрокосмическими материалами заключается в необходимости сопоставления данных о ситуации, полученных в течение определенного периода времени. Явные нарушения природной обстановки, контрастно выделяющиеся на видеонаблюдении, могут фиксироваться в автоматическом режиме. Однако для распознавания большей части геологических процессов, изменяющих состояние природной среды, требуется визуальное дешифрирование изображения. Аэрокосмическое зондирование позволяет получить новые сведения о состоянии среды через внешние ландшафтные признаки, а также путем ландшафтной индикации скрытых от прямого наблюдения процессов. Если геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические процессы не-

достаточно надежно отражаются в фотоландшафте, то для их изучения необходимо привлечь наземные наблюдения.

Мониторинг требует также непрерывного пополнения банка данных по результатам изучения опубликованных и фондовых работ.

Сбор, обработка и систематизация огромного по своему объему фактического материала невозможны без широкого использования ЭВМ, которое может иметь самые разнообразные формы. В качестве примера можно привести уже апробированную методику систематизации информации при функционировании постоянно действующей модели геологической среды Московского градопромышленного комплекса.

Фактический материал вначале был систематизирован на перфокартах ручной сортировки. Только по Москве массив содержал 55 тыс. перфокарт по следующим аспектам: геолого-литологическое строение; уровни, химический состав, параметры фильтрации и режим подземных вод, физико-механические свойства пород.

Промышленно развитые регионы отличается многообразие связей геологической среды с искусственной (техносферой). Территория промышленных регионов представляет собой сложную ПТС, которая может быть дифференцирована по видам техногенного воздействия на подсистемы городов, водохозяйственных объектов, сельскохозяйственных угодий и т. д. При изучении геологической среды промышленных регионов необходимы как выявление процессов, происходящих в границах указанных подсистем, так и исследование связей и зависимостей между ними. Иными словами, города, сельскохозяйственные угодья и гидротехнические сооружения рассматриваются как открытые системы.

Отфильтрованный фактический материал по 20 тыс. скважин был введен в ЭВМ, что позволило вести его обработку и поиск требуемой информации в автоматическом режиме. Содержащийся в «геобанке» материал можно использовать многократно. Для удобства ввода в ЭВМ, накопления и хранения информации приняты такие формы ее обобщения как «пункт наблюдения» и «узловая точка модели». Пунктами наблюдения могут быть скважины, колодцы, родники, проявления геологических процессов, «ядра» ПТС и т. д. Узловые точки модели соответствуют полям пиксел или квадратам (при сетевой разбивке территории) со сторонами 4,1 и 0,25 км. Паспорт узловой точки модели содержит всю имеющуюся информацию, характеризующую ту часть геологической среды, которая попадает в тот или иной квадрат. Осуществляется машинный контроль качества информации и корректировка выявляемых ошибок.

Важнейшая задача функционирования информационной системы — создание имитационных моделей и обеспечение их информацией об изменениях в природно-технической геосистеме. Для ряда урбанизированных территорий страны созданы мате-

матические модели, позволяющие имитировать изменения гидрогеологических условий в процессе эксплуатации подземных вод, проводить оперативную переоценку их запасов, решать широкий круг других геологических задач (геофильтрации, миграции химических компонентов в подземных водах, тепло- и массопереноса и др.). Система автоматизированного моделирования обеспечивает решение и таких задач как моделирование геологических полей и процессов.

Особый интерес представляют модели геологических полей в виде аналитических выражений, описывающих зависимость геологического параметра (как мер его рассеяния при использовании стохастического аппарата) от координат, и тренд-поверхностей, графически отображающих пространственное распределение моделируемого параметра (или мер его рассеяния).

Программы обеспечивают математическую обработку, анализ пространственно-временной изменчивости параметров (характеристик), хранящихся в «геобанке», оптимизацию параметров геологических полей и проверку их соответствия имеющейся геологической информации. Программы могут быть использованы в следующих целях: 1) для выделения геологических тел с заданными свойствами; 2) при определении закономерностей пространственно-временной изменчивости геологических тел; 3) для пространственно-временного прогноза показателей свойств (оценка средних значений и мер их рассеяния) в любой точке моделируемого поля.

Если рассматривать проблему в целом как социально-экологическую, то приведенный выше пример основан лишь на решении частных гидрогеологических задач. Представляется, однако, что общее моделирование и частное 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. Известные прогнозные модели развития социосферы, создаваемые под эгидой Римского клуба или модели динамики Форрестера — Медоуса, не учитывают ряд реальных параметров, в результате чего эти общие построения рисуют довольно мрачную картину будущего. В то же время конкретизация ситуации, учет социального и технического прогресса заставляет по-новому оценить дальнейшие взаимоотношения человека и природы. В этой связи заслуживает внимания принцип композиционного моделирования, предложенный М. Г. Завельским. В соответствии с этим принципом, общая экологическая картина региона должна представить собой систему конкретных, элементарных моделей, скрепленную прямыми и обратными межэлементными связями.

Использование ЭВМ для автоматизации процесса интерпретации аэро- и космических изображений местности — необходимый элемент геоэкологического мониторинга. Приемы и методы

автоматизации процесса дешифрирования, преобразования и сканирования видеоизображения рассмотрены в работах Б. В. Виноградова, И. Б. Мучника, Е. И. Паморозского, Р. И. Эльмана, Ю. Е. Нестерихина, У. Прэтта, Б. М. Пушного, Ю. В. Ступина, Г. Хорниша и др.

Важным элементом информационной системы является подсистема, предназначенная для аппроксимации выходной информации в удобные для восприятия и работы формы. В геологии — это специальные карты, позволяющие представлять ситуацию дифференцированно и в комплексе, т. е. в виде целостных систем и их элементов с помощью цветографических объемных моделей. Эти модели не обязательно изготовляют исключительно путем ручной рисовки, хотя сейчас без нее невозможно обойтись. Их можно выводить на экраны дисплеев или использовать различного рода материалы светорисовки, теплового проявления рисунка и другие, позволяющие без особого труда вносить исправления в рисунок модели.

Основной недостаток всех карт ручной рисовки — трудности внесения в них исправлений и дополнений в соответствии с поступающей информацией. Карты, созданные трудом квалифицированных специалистов, становятся документами разового пользования, быстро устаревают, а их уточнение требует почти тех же затрат труда, что изготовление новых карт. Очевидно, что картографические модели в системе мониторинга должны быть рассчитаны на автоматическое воспроизведение, машинное уточнение и механическое преобразование ситуаций (ее интеграцию и синтез).

В соответствии с представлениями, принятыми в инженерной геологии, под мониторингом понимают не только систему наблюдений за состояниями геологической среды, но и прогноз этих изменений, а также рекомендации по управлению геологическими процессами (как природными, так и техногенными) и рациональному использованию геосистемы. В рассмотренной структурной схеме геоэкологического мониторинга две последние задачи могут быть решены путем перманентного прогнозирования с использованием различных методов прогноза (вероятностно-статистических, детерминированных, аналоговых и др.). Непрерывность поступления информации о состоянии геологической среды и техносферы, корректировка и уточнение прогнозов обеспечивают надежный контроль за природопользованием, процессами изменения экологической обстановки и надежностью мер по охране среды.

## **Модели геологической среды**

**Структура и состав.** Геологическая среда в качестве объекта изучения и картографирования как система многообразных объектов и сложных энергетических связей требует разработки четких критериев для определения пространственных границ,

детальности изучения и моделирования, как в целом, так и по-компонентно. Необходимо установить функциональное назначение системы, проанализировать ее структуру для того, чтобы затем адекватно представить все это в виде картографической модели. Сама картографическая модель состояния и изменения геологической среды должна иметь постоянную информационную связь с банком информации и математическими моделями геологических и антропогенных процессов, реализованными на ЭВМ. Такая модель, отражающая экзогенные геологические процессы и закономерности проявления эндогенных процессов, позволяющая представить ситуацию в ее развитии, несет мощный эвристический потенциал.

Одно из главных требований картографирования — адекватность модели реальному состоянию геологической среды и степени ее изменения за конкретный отрезок времени. Чем длиннее ряд таких временных «срезов», чем больший период времени он охватывает, тем точнее прогноз, базирующийся на исторических или хронологических аналогиях. Особенно сложно при этом выявить закономерности развития техногенных процессов (подтопление территории, загрязнение подземного пространства). И все же прежде всего картографическая модель геологической среды промышленного региона должна отражать сегодняшнее состояние контролируемого пространства с выделением мест, экологическое состояние которых требует немедленного вмешательства человека.

Сводная модель геологической среды в своей основе многофункциональна и требует увязки в единой структуре ряда, на первый взгляд, альтернативных условий (требований). Она должна отражать общую картину строения и функционирования системы и в то же время детально обрисовывать геоэкологически важные ее элементы. Модель предназначена для специалистов геологов и для людей, не имеющих специальной подготовки, в ее структуре должны быть как логические карты, так и карты, обосновывающие логические выводы фактическим материалом.

Опыт показывает, что структура картографической модели геологической среды имеет четкую иерархию (рис. 2), вершина иерархической «лестницы» — сводные синтетические карты высшего уровня логического обобщения информации, а основание — компонентные аналитические карты, построенные на принципах карт-фактов. Между вершиной и основанием располагаются карты, построенные по принципу типизации факторов. В зависимости от уровня рассмотрения ситуации (масштаба картографирования) детальность информации на каждом уровне может и должна быть различной. На рис. 3 в качестве примера приведена схема такой детализации факторов, учитывавшихся при типизации геологической среды территории Москвы. Все карты, составляющие модель, можно разделить по ряду классификационных критериев на несколько групп (табл. 2).



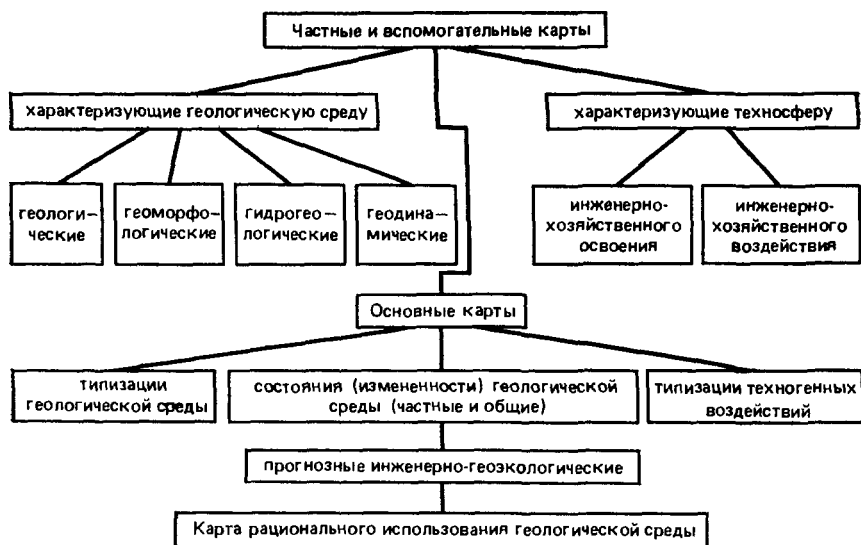


Рис. 2. Структура картографической модели

1. По объекту (предмету) моделирования выделяют карты, характеризующие геологическую среду (III), техносферу (I) и реакцию среды на воздействие (II).

2. По степени обобщения и логической обработки ситуации, целостности создаваемой картины различают сводные (А), синтетические пообъектные (Б) и аналитические (В) карты. Первые две группы универсальны: это карты типизации геологической среды и ее важнейших компонентов, техногенного воздействия. Набор карт группы В зависит от особенностей геологического строения региона, его рельефа и гидрогеологических условий, промышленной специализации. Обоснование необходимого и достаточного набора аналитических карт для создания сводной картографической модели геологической среды — важная и ответственная задача при постановке инженерно-геоэкологических исследований, так как именно этот набор определяет общую методику и конкретные приемы изучения среды и контроля за ее состоянием.

3. По темпам старения информации картируемые ситуации делятся на квазистабильные (1) и изменяющиеся (2). Разделив карты по скорости изменения ситуации и развития инженерно-геологических процессов, а также по темпам инженерной реконструкции ландшафтов, мы можем определить время повторных съемок и контрольных замеров, цикличность режимных наблюдений за геологическими и инженерно-геологическими процессами.

4. Наконец, по времени выделяют картографические модели, соответствующие реальному состоянию среды (а); ретроспектив-

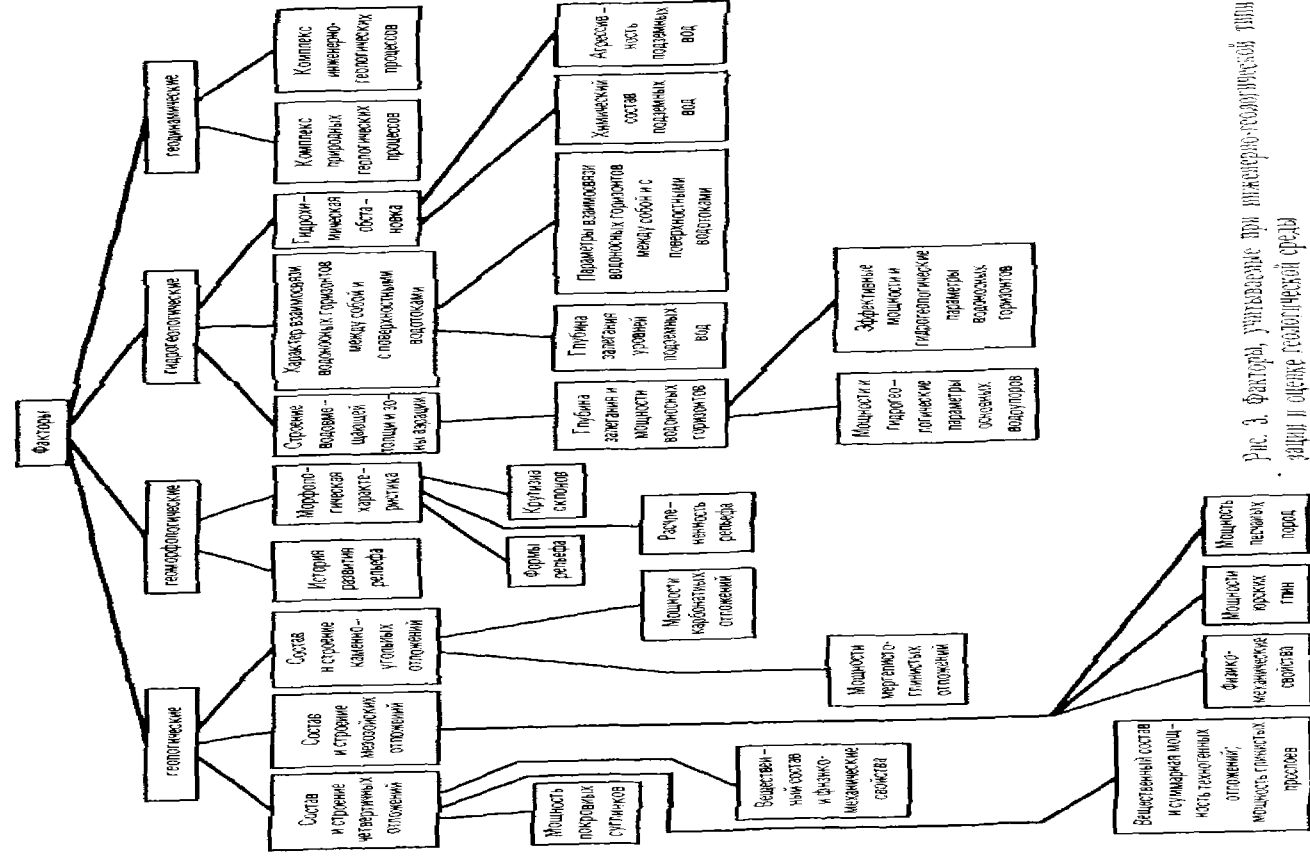


Рис. 2. Факторы, учитываемые при инженерно-геологической типизации и оценке геологической среды

## Объекты картографирования

Сводный объект картографирования	Аналитический уровень (Б)	Синтетический уровень (Б)	Сводные карты (А)
Техносфера (I)	Тяжелая и легкая промышленность (1, 2) Города и внегородские зоны (1, 2) Земледелие и животноводство (1, 2) Лесопосадки и унаследованные леса (1, 2) Водохранилища и каналы (1, 2) Торфоразработки, добыча строительных материалов и фосфоритов (1, 2)	Промышленность (1, 2) Урбанизация (1, 2) Сельское хозяйство (1, 2) Лесное хозяйство (1, 2) Гидротехнические объекты (1, 2) Добыча полезных ископаемых (1, 2)	Типизация техносферы (техногенного воздействия) (1, 2) (а, б, в)
Процессы техногенеза (II)	Оползни, эрозия, карст, суффозия (2) Переработка берегов, уплотнение и оседание поверхности (2) Подтопление, вторичное заболачивание, снижение уровней грунтовых и напорных вод (2)	Природные экзогенные геологические процессы (2) Инженерно-геологические процессы (2) То же	Типизация геологических и инженерно-геологических процессов (реакция геологической среды) (2) (а, б, в)
Геологическая среда (III)	Техногенные и четвертичные отложения, коренные породы (1) Воды четвертичных отложений, мезозойского и каменноугольного комплексов (1, 2)	Геологическое строение (1) Гидрогеологические условия (2)	Типизация геологической среды (строение, структура, состав) (1) (а)

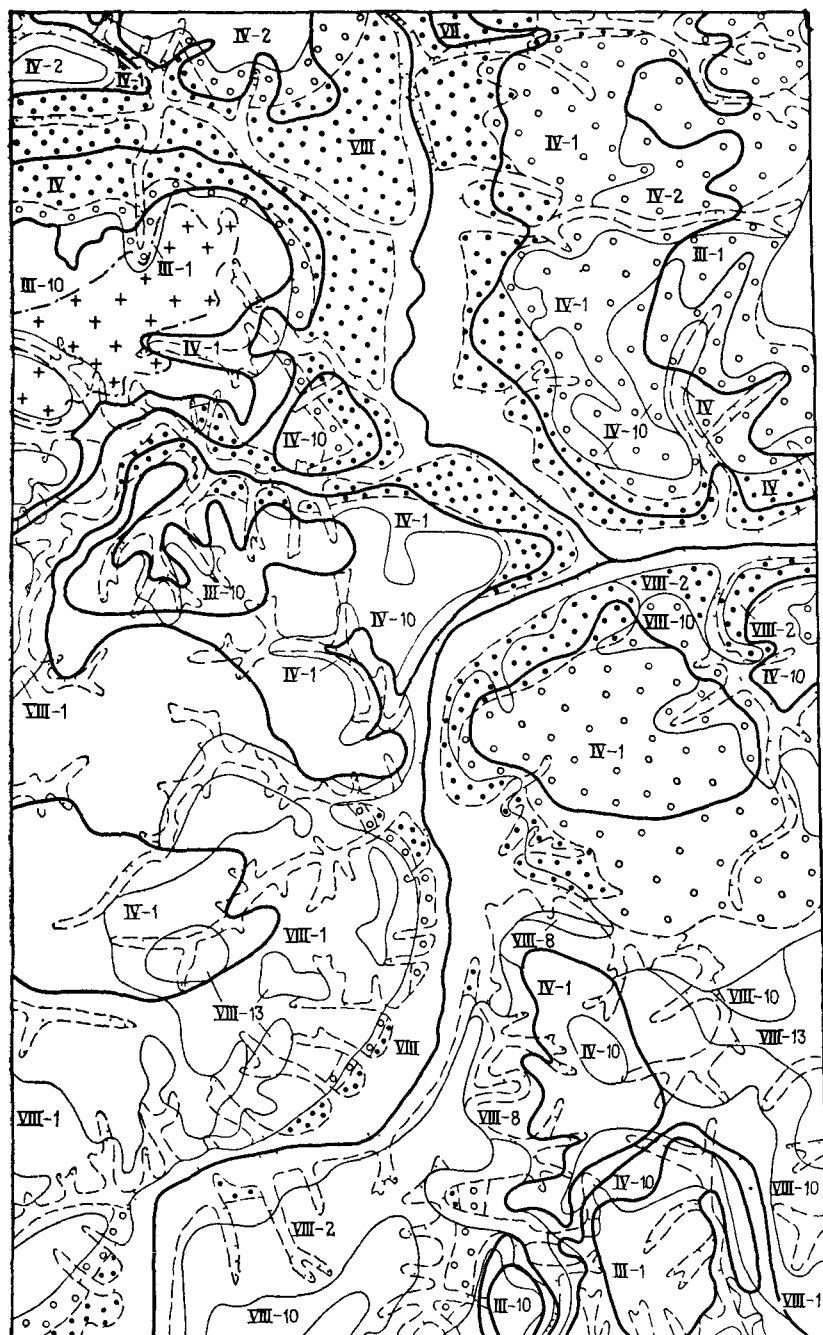
ные, отражающие прошлое состояние (б); прогнозные (в). Прогнозные модели могут быть представлены в виде карт ожидаемой ситуации (что более удобно при компьютерной их реализации) и матриц. В последнем случае на полях пересечения воздействия на среду и типов строения этой среды содержится информация о реакции природной среды данного типа на конкретный вид техногенного воздействия. Там же могут быть помещены рекомендации по инженерной защите территории или поиску более благоприятных условий для планируемого производства.

Картографическую модель геологической среды нельзя ограничивать статическим отражением динамичной природно-технической геосистемы. Ее необходимо постоянно пополнять информацией об изменяющихся природных и искусственных компонентах. Только в этом случае сводная картографическая модель геологической среды станет действенным инструментом контроля за состоянием последней и проверки эффективности мероприятий по защите.

Типологическое районирование взаимодействующих сред открывает широкие возможности для прогнозирования. Варьируя состав и структуру элементов техносферы, зная характер их воздействия на среду, можно прогнозировать соответствующие изменения этой среды или тех ее компонентов, которые примут на себя энергию воздействия проектируемых инженерных сооружений. Структура картографической модели отвечает условиям многовариантного моделирования изменений геологической среды.

В перспективе целесообразно иметь разновременные модели геологической среды, позволяющие проследить ее эволюцию, оценить реальность и рассчитать будущее состояние системы с учетом планов социально-экономического развития региона. Можно создать программу автоматической экстраполяции ситуации на любой промежуток времени функционирования некоей эталонной модели. Использование принципов мониторинга при обеспечении модели требуемой информацией позволяет корректировать реальную и прогнозную ситуации.

**Инженерно-геологическое районирование — основа изучения изменений геологической среды.** Состояние геологической среды отражает комплекс специальных карт, показывающих ее строение, мощность, гидрогеологические условия, геодинамическую обстановку и особенности рельефа. Принципиально важно, чтобы набор этих карт позволял создать обобщенную целостную модель инженерно-геологической ситуации региона, оценить условия протекания инженерно-геологических процессов, современное состояние среды и возможности ее эволюции под воздействием техногенных факторов. Карты должны быть достаточно информативными, чтобы на их основе можно было создавать формализованные модели для решения задач на количественном уровне.



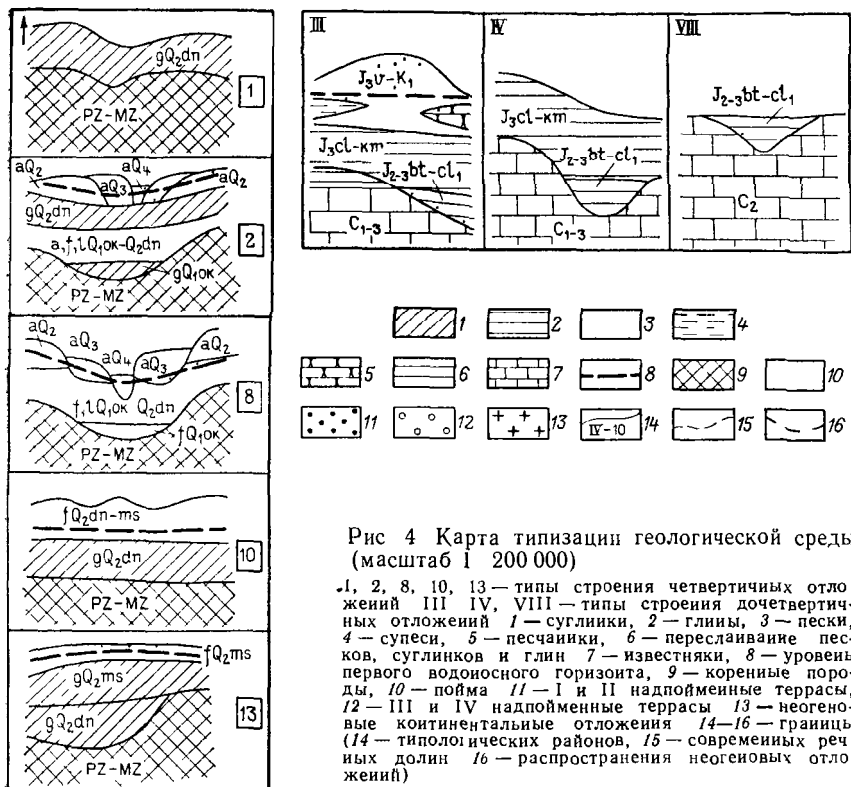


Рис 4 Карта типизации геологической среды (масштаб 1 : 200 000)

1, 2, 8, 10, 13 — типы строения четвертичных отложений III IV, VIII — типы строения дочетвертичных отложений 1 — суглинки, 2 — глины, 3 — пески, 4 — супеси, 5 — песчанники, 6 — переслаивание песков, суглинков и глин 7 — известняки, 8 — уровень первого водоносного горизонта, 9 — коренные породы, 10 — пойма 11 — I и II надпойменные террасы, 12 — III и IV надпойменные террасы 13 — неогеновые континентальные отложения 14—16 — границы (14 — типологических районов, 15 — современных речных долин 16 — распространения неогеновых отложений)

Указанные цели могут быть достигнуты путем использования принципа типизации геологической среды. Под типизацией геологической среды понимается районирование территории, которое заключается в выделении геологических тел (горных пород, вмещающих подземные воды, газы и органическое вещество), характеризующихся разными условиями протекания природных и техногенных процессов и обладающих различной способностью изменяться при инженерно-хозяйственном освоении территории. Типы строения геологической среды являются основным содержанием карт типологического инженерно-геологического районирования для геоэкологических целей. Границы и внутреннее строение картируемых типов определяются их стратиграфо-генетическими, фациальными и литологическими особенностями, инженерно-геологическими свойствами, детальность показа которых зависит от целей и масштаба картографирования.

Пример карты типизации геологической среды приведен на рис. 4. Каждый выделенный тип строения геологической среды характеризуется своим формализованным разрезом (табл. 3).

## Типы строения геологической среды

Геоморфологическая характеристика	Тип строения четвертичных отложений (см. рис. 4)	Характеристика погребенного дочетвертичного рельефа (типы строения дочетвертичных отложений, см. рис. 4)		
		Водоразделы и склоны доледниковых речных долин	Низкие водоразделы, склоны и днища речных долин	Склоны и днища доледниковых речных долин, осложненных карстом
Моренные равнины днепровского возраста	1	III-1	IV-1	VIII-1
Долинные зандры	2	III-2	IV-2	VIII-2
Флювиогляциальные равнины:	8	III-8	IV-8	VIII-8
днепровские	10	III-10	IV-10	VIII-10
московские	13	III-13	IV-13	VIII-13

При изменении масштаба картирования этот разрез может дифференцироваться, например, по мощности слоев, дополнительных логическим признакам и т. д.

Наиболее удобна матричная форма, основанная на раздельной таксономизации типов строения толщи пород коренной основы и чехла четвертичных отложений (зоны многолетнемерзлых пород и слоя сезонного протаивания и промерзания и т. п.). При совмещении одного ряда типологических таксонов с другим по матричному принципу на пересечении можно получить сводный тип строения геологической среды на всю ее мощность. На типовых колонках (разрезах) даются уровни грунтовых вод и пьезометрические поверхности вод глубоких горизонтов (см. рис. 4).

Таким образом, типизация позволяет получить целостное представление о геологической среде региона, открывает широкие возможности оценки качества среды с точки зрения ее устойчивости к внешним воздействиям, степени изменяемости и соответствия инженерным, а точнее инженерно-экологическим, проектам и планам.

Карта типологического районирования геологической среды создается в результате обобщения серии частных и вспомогательных карт и дополняется последними. Состав этих карт, уровень детализации при выделении типов строения геологической среды зависит от природных особенностей территории, ее экологического состояния, а также конкретных народнохозяйственных задач, связанных с развитием региона. Так, для территории Москвы с учетом ее геологического строения и специфики воздействия на среду большого города были составлены следующие карты: геологические (типов строения четвертичных, мезо-

зойских и каменноугольных отложений), геоморфологические (морфометрические современного погребенного рельефа), гидрогеологические (фильтрационного строения мезо-кайнозойских и каменноугольных водоносных горизонтов, изогипс и изопьез, агрессивности грунтовых вод, загрязнения мезо-кайнозойских и каменноугольных водоносных горизонтов), экзогенных геологических процессов, полей показателей свойств техногенных отложений.

Большинство частных и вспомогательных карт, используемых при типизации геологической среды, традиционны для инженерно-геологического картографирования, поэтому рассмотрим подробнее содержание двух карт, необходимых для геоэкологического контроля за состоянием территории, — карт экзодинамической обстановки и зоны аэрации.

Картографическая модель экзодинамической обстановки включает карты экзогенных геологических процессов и инженерно-геодинамическую. Первая составляется по традиционной методике и является картой фактов. На ней показаны все наблюдаемые в регионе экзогенные геологические процессы и их проявления (иногда с дополнительной характеристикой их динамики или особенностей форм). Такие карты широко используются в инженерной геологии при оценке пригодности территории для строительства любых инженерных объектов. Эти карты имеют один недостаток: они не несут информации о «геологическом риске» строительства, связанном с возможностью возникновения геологических процессов в местах, где их проявления во время съемки не обнаружено. Можно привести множество примеров, когда неожиданные процессы могли быть предсказаны. Так, изучая проявления погребенного карста на поверхности в центральных районах европейской части СССР, авторы обнаружили многочисленные факты распашки карстовых воронок и «затягивания» их за короткий промежуток времени (2—10 лет). Такие карстовые формы далеко не всегда фиксируются при проведении инженерно-геологических съемок, и районы их проявления не считались карстоопасными. Поэтому проектировщикам и строителям важно знать не столько сам факт проявления того или иного процесса (хотя он чрезвычайно важен), сколько общую предрасположенность участка к этим процессам.

Высказанные соображения были учтены при выборе содержания второй карты, входящей в состав моделей экзодинамической обстановки, — инженерно-геодинамической.

Инженерно-геодинамическая карта принадлежит к классу карт логического обобщения фактической ситуации. Она содержит сведения об общей предрасположенности территории к тем или иным геологическим процессам и их генерациям. Последние представляют собой некую парагенетическую цепочку взаимосвязанных процессов, зависящих от особенностей среды протекания. Об эффективности принятого подхода свидетельствует такой факт: построенные С. М. Зенгиной и М. Е. Аронзон по



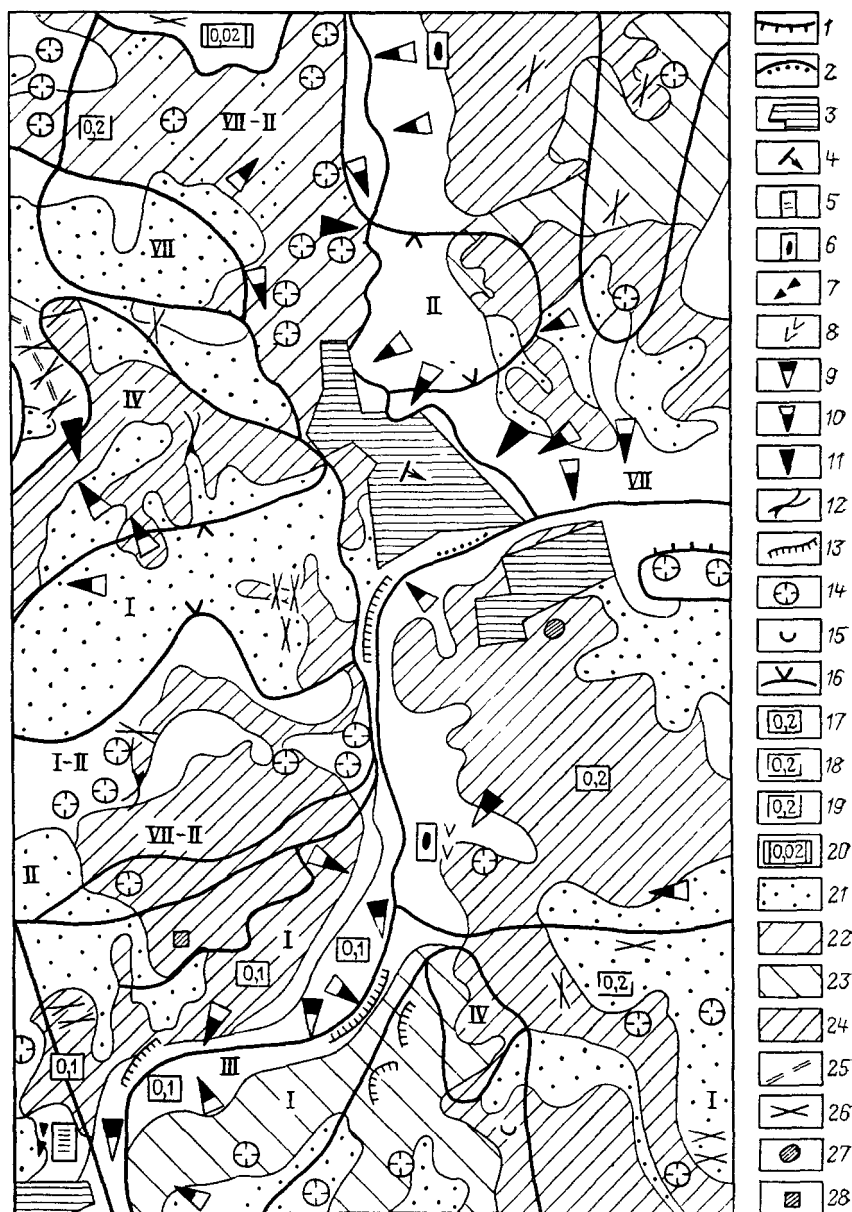


Рис 5 Инженерно геодинамическая карта (масштаб 1 200 000)

Типы парагенетической генерации экзогенных геологических процессов I — овражно эрозийный, II — карстовый III — болотно торфяниковый IV — оползневой V — разрушения берегов VI — речной аккумуляции VII — нейтральные территории Инженерно-геологические процессы 1 — гидротехнических систем (I — абразия берегов водохранилищ 2 — аккумуляция на водохранилищах каналов), 3, 4 — промышленного и горнодобывающего комплексов (3 — подтопление 4 — техногенная суффозия) 5 — 8 — горнодобывающего комплекса (5 — образование болот по дницам выработок 6 — образование водоемов по дницам выработок 7 — осыпи по бортам карьеров, 8 — эрозия по бортам

факторам проявления карстово-суффозионных процессов карты Московского региона показали, что почти 30 % площади, отнесенной этими авторами к карстоопасным участкам, ранее к ним не относились из-за отсутствия здесь поверхностных проявлений карста. Отметим, что именно к таким участкам приурочены достаточно многочисленные неожиданные карстовые провалы.

На инженерно-геодинамической карте (рис. 5) показываются поля (участки) развития тех или иных парагенетических генераций природных экзогенных геологических процессов (название берется по главному из них, который поражает большую площадь и представляет собой наибольшую опасность для человека) и комплексы инженерно-геологических процессов, приуроченных к конкретным ПТС.

На картах геологических процессов (или модели, состоящей из двух взаимосвязанных карт) содержатся сведения о риске проявления того или иного процесса, а также отмечены территория, где он уже проявился, и участки, где риск только предполагается, но не подтвержден фактами.

Инженерно-геологические процессы, выделяемые на карте, в одних случаях не отличаются от своих природных аналогов и естественно связаны с изменившимся в результате инженерного вмешательства ландшафтом, а в других резко аномальными и их проявление вызвано техногенным энергомассопривносом или (био) химическим загрязнением на локальных участках. Характер таких процессов резко отличает их от природных аналогов. Эти инженерно-геологические процессы необходимо брать под особый контроль в ходе инженерно-геоэкологического изучения среды. На карте они учтены как инженерно-геодинамические нарушения.

Самостоятельное место в легенде карты занимают нарушенные человеком земли и геологические неудобья. Нарушения проявляются в виде комплекса или генерации инженерно-геологических процессов, характерных для отработанных территорий. Эти нарушения могут быть вызваны не только разработкой полезных ископаемых или непродуманной мелиорацией земель, но и процессами подтопления территории в зоне влияния водохранилищ, которые приводят к исключению из хозяйственного оборота немалого количества земель, ранее использовавшихся в сельском и лесном хозяйствах.

---

карьером), 9—11 — мелиоративных систем (9 — просадки и развевание почв при осушении, 10 — подтопление при обводнении или орошении, 11 — эрозия при обводнении и осушении) Единичные (крупные) проявления экзогенных геологических процессов 12 — овраги, 13 — боковая эрозия рек, 14 — карстовые воронки, 15 — оползни Элементы динамики экзогенных геологических процессов 16 — направление смещения границ парагенетических генераций экзогенных геологических процессов Коэффициенты отторженности земель экзогенными геологическими процессами 17 — с тенденцией роста, 18 — стабильной (на время наблюдений), 19 — с тенденцией уменьшения, 20 — коэффициент площадной пораженности земель экзогенными геологическими процессами Состав по род — среды развития экзогенных геологических процессов 21 — песчаный, 22 — песчато-суглинистый, 23 — песчаный суглинистый, 24 — суглинистый Прочие знаки 25 — спрямленные, обвалованные русла малых рек 26 — плотины на малых реках 27 — местоположение неудобий, 28 — участки нарушенных земель

Пораженность земель тем или иным геологическим процессом, согласно принятым методикам, подсчитывается как отношение площади его проявления к площади эталонного участка. Надо отметить, что коэффициент пораженности земель оцениваемым процессом далеко не всегда отражает истинные потери земельного фонда. Так, площадь карстовой воронки может быть в 10—20 раз меньше площади участка, выведенного из-за этой воронки из хозяйственного использования. Нередко вокруг свежего карстового провала начинаются развитие оползней и рост эрозионных борозд.

О реальных потерях земель, связанных с проявлением экзогенных геологических процессов, о масштабах так называемых геологических неудобий дает представление введенный нами и показываемый на картографической модели коэффициент отторженности земель. Он рассчитывается как отношение суммарной площади выведенных из строя геологическими процессами (отторженных) земель к площади эталонного участка. Как правило, он на порядок выше коэффициента пораженности территории экзогенными геологическими процессами (ЭГП).

В контур отторженных земель попадает вся территория вокруг оцениваемой формы проявления того или иного процесса (включая и саму эту форму), которая исключена из хозяйственного обращения. Особенно хорошо выделяются участки отторженных земель на пашне (рис. 6).

Карты зоны аэрации до последнего времени представляли интерес только для гидрогеологов. При инженерно-геоэкологических исследованиях функции этих карт усложняются с вводом инженерно-геологических характеристик пород, слагающих зону аэрации.

От мощности, строения и состава пород зоны аэрации прямо зависят характер и скорость фильтрации вод с поверхности, привнос и распространение загрязняющих веществ. Сорбционная емкость и химический состав пород этой части геологического пространства определяют его способность к самоочищению и нейтрализации проникающих веществ-загрязнителей. Грунты зоны аэрации нередко служат основаниями для инженерных сооружений, и именно здесь начинает формироваться контазона.

По принципу составления инженерно-геологическая карта зоны аэрации (рис. 7) относится к картам типологического районирования. Легенда карты строится в виде матрицы (табл. 4), позволяющей раскрыть строение зоны аэрации и специфику первого от поверхности водоносного горизонта, т. е. показать типы строения зоны аэрации и среды миграции грунтовых вод. Особо выделяют участки, в пределах которых характер зоны аэрации нарушен техногенным вмешательством (контазона в городах и крупных производственных комплексах). Границы регионального водоупора на карте зоны аэрации оконтуривают наиболее опасные зоны, где защищенность вод нижележащих горизонтов слабая.

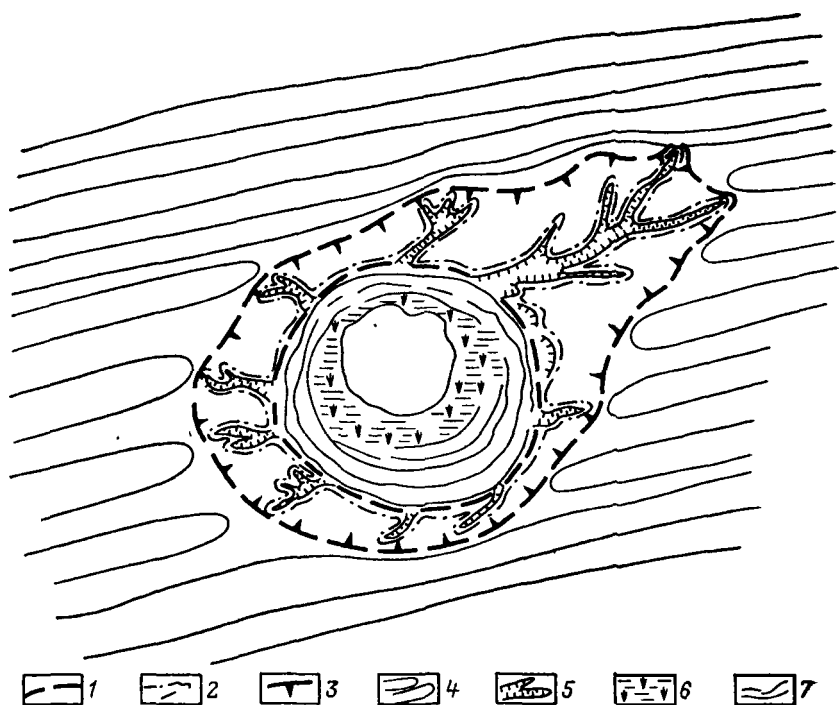


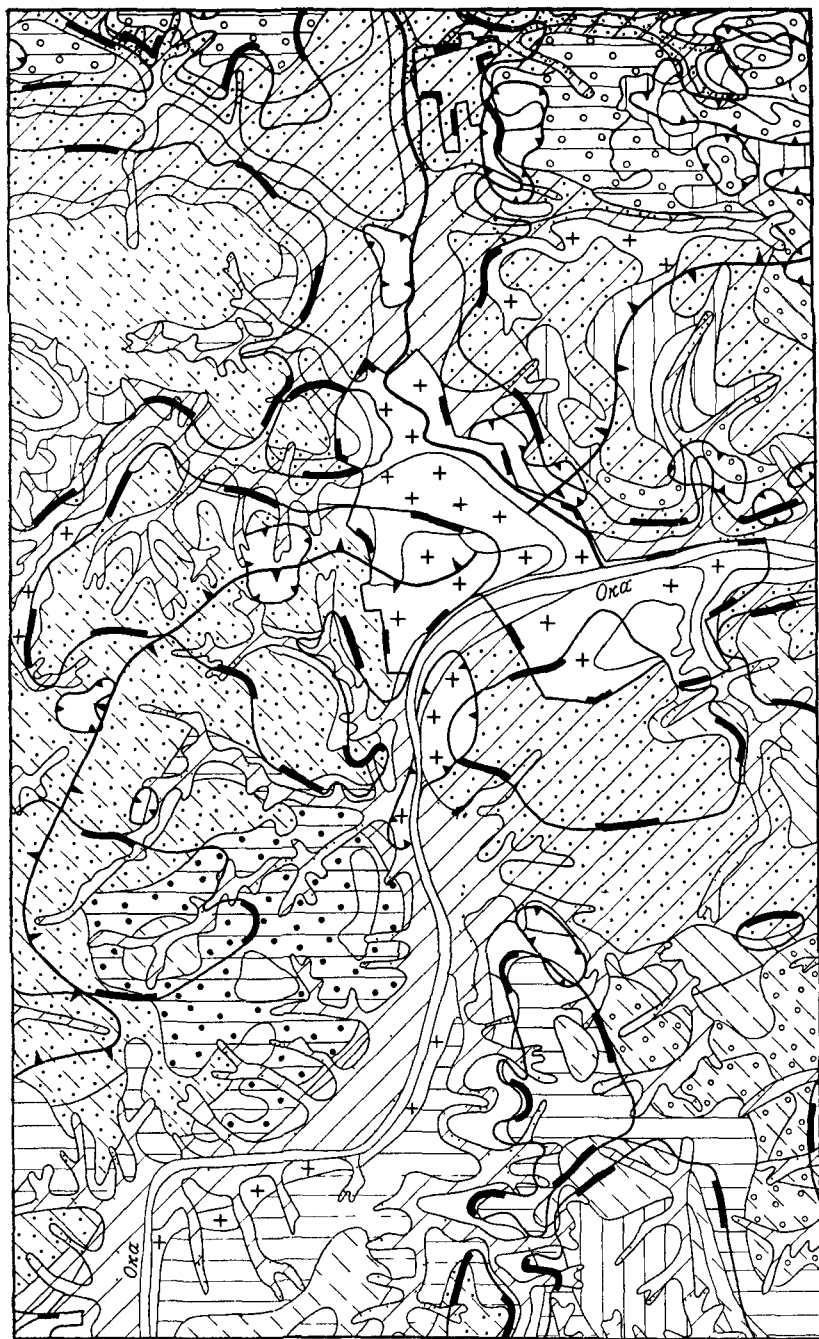
Рис. 6. Учет отторженных геологическими процессами (карст) земель:  
1—3 — границы (1 — карстовой формы, 2 — парагенетической генерации карста, 3 — отторженных земель), 4 — пашня, 5 — овраги; 6 — болота; 7 — микрорельеф

Инженерно-геологическая карта зоны аэрации характеризует ту часть геологической среды, которая первой вступает в контакт с техносферой и, как правило, подвергается различным изменениям и инженерным преобразованиям. Казалось бы застывшая, статичная ситуация картографической модели на самом деле отражает сложную картину пространственных изменений за некоторый период времени. Сама эта карта относится к дежурным. Новый «квант» информации на новый отрезок времени дает возможность сопоставить разновременные ситуации и выявить их динамику.

По тому же принципу могут строиться карты зоны выветривания в горных районах, зоны сезонного протаивания многолетнемерзлых пород и др.

Основой всех карт, отражающих состав, структуру и границы геологической среды или ее отдельных компонентов, является типологическое инженерно-геологическое районирование. Степень его детализации зависит от предмета исследований (объекта картографирования) и масштаба карт.

Карты типологического районирования играют большую роль при интерпретации ситуации, построении карт защищенности



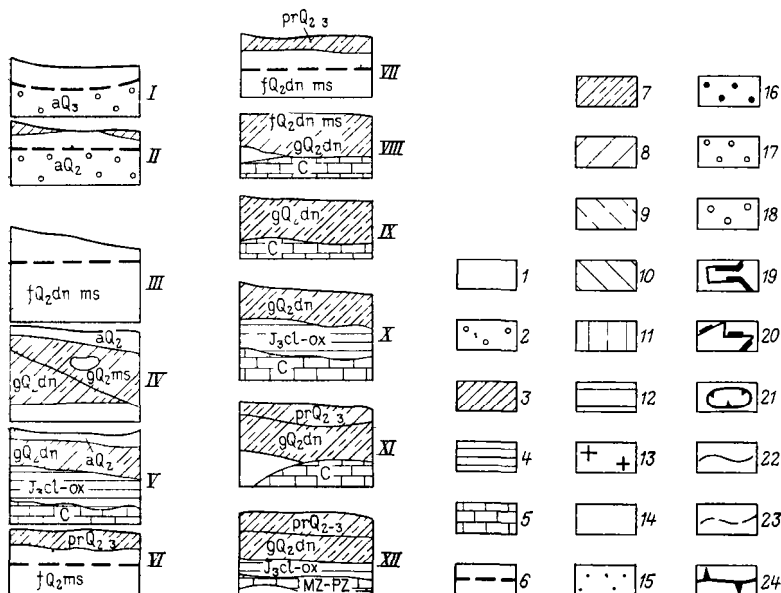


Рис 7 Инженерно-геологическая карта зоны аэрации (масштаб 1 200 000)

1 — пески, 2 — гравийно галечные пески, 3 — суглинки, 4 — глинны, 5 — известняки, 6 — уровень подземных вод, 7 — бесстесненно неоднородная толща (суглинки, линзы и прослойки песка), 8—12 — первый от поверхности водоносный горизонт (8 — четвертичный аллювиальный, 9 — московский флювиогляциальный, 10 — днепровско-московский флювиогляциальный, 11 — мезоканнозойский, 12 — каменноугольный), 13 — зона аэрации в склонах и уступах речных долин, 14—18 — мощность зоны аэрации (14 — менее 1,5 м, 15 — 1—3 м, 16 — 3—5 м, 17 — 5—10 м, 18 — более 10 м), 19 — площади (границы) развития регионального водоупора, 20, 21 — участки нарушенного строения зоны аэрации под влиянием городского строительства (20) и добычи полезных ископаемых (21), 22 — границы различных типов строения зоны аэрации, 23 — границы первого водоносного горизонта, 24 — линии водоразделов I—XII — типовые разрезы

(от внешнего загрязнения) водоносных горизонтов региона и устойчивости геологической среды к техногенному воздействию, прогнозных картографических и математических моделей.

**Требования к моделям техносферы.** В современной литературе, посвященной изучению геологической среды, наметилось два подхода к составлению картографических моделей техносферы. В первом случае выявляются (и показываются на соответствующих картах) источники техногенного возмущения геологической среды (промышленные предприятия, горно-обогатительные комбинаты, шахты, карьеры, каналы и т. д.) без указания характера воздействия этих источников на среду и его последствий. Во втором случае объекты техносферы не показываются и модели отражают только техногенные воздействия без раскрытия их причин. Между тем очевидно, что характер и интенсивность техногенного воздействия на геологическую среду, вызывающего изменения последней, зависят от особенностей функционирования инженерно-хозяйственных сооружений. Например, понижение уровня подземных вод может быть результатом откачек, уменьшения инфильтрации, повышения поверхностно-

## Типы строения зоны аэрации

Строение зоны аэрации			Характеристика первого от поверхности водоносного горизонта (см. рис. 7)				
Геоморфологическая приуроченность	Преслагающие в разрезе породы	Типовой разрез (см. рис. 7)	Четвертичный аллювиальный горизонт (галечники, пески, супеси)	Московский флювиогляциальный горизонт (пески)	Днепро-московский флювиогляциальный горизонт (пески)	Мезокайнозойский комплекс (пески тонкозернистые с прослоями глин)	Каменноугольный комплекс (известняки, доломиты)
Речные террасы	Пески	I	1	2			
Флювиогляциальные равнины	„	II III	3		4		
Цокольные речные террасы	Глины	IV			5	6	7
Флювиогляциальные равнины	Суглинки (60—80 %)	V					8
Моренные равнины	Пески	VI		9			
		VII			10		
		VIII				11	12
	Глины	IX				13	14
		X					15
		XI				16	17
		XII					18

го стока; очевидно, однако, что размеры, интенсивность и динамика понижения, вызванного работой водозаборов или асфальтированием поверхности земли, различны. Следовательно, картографические модели техносферы должны показывать как источники воздействия на среду, так и их особенности. Для создания такой модели необходимы, по крайней мере, два блока информации, представленной в виде вспомогательных карт или записанной в иной форме (например, внесенных в банк данных информационной системы): а) об инженерно-хозяйственной освоенности территории; б) о типах инженерно-хозяйственного воздействия на геологическую среду. Степень дифференциации информации зависит от детальности исследований. Так, при региональном картографировании достаточно показать объекты техносферы на уровне основных типов освоения территории (города, пашни, леса, горнорудные регионы, мелиорируемые земли и т. д.). При детальном изучении геологической среды информация об источниках техногенного возмущения должна быть более дифференцированной, позволяющей учесть специфику воздействия тех или иных сооружений на геологическую среду.

Приведем в качестве примера типизацию для построения легенды карты крупного города (табл. 5). Главную нагрузку ее составляют виды инженерного освоения территории: незастроенные площади, селитебные (жилые кварталы) и промышленные зоны, линейные сооружения. К незастроенным городским территориям относятся: а) парки, скверы, бульвары, сады; б) полигоны твердых бытовых отходов. Жилые кварталы подразделены на четыре группы по времени застройки, определяющему ее тип и характер подземных коммуникаций. Для районов, застроенных в основном до Великой Октябрьской социалистической революции и в первые десятилетия после нее (до 1940-х гг.), характерна «сплошная» застройка малоэтажными, большей частью каменными зданиями. Плотность застройки здесь максимальная (по сравнению с остальными районами), поэтому взаимное влияние фундаментов наиболее ощутимо. Сеть подземных коммуникаций также очень густая и разветвленная, магистральные коммуникации имеют наиболее высокую плотность. Районы, застроенные в 1950-е гг., отличаются преобладанием среднеэтажных каменных домов (высоких зданий значительно меньше). «Сплошной» застройки здесь уже не наблюдается, соответственно и плотность коммуникаций меньше. Районы, застроенные в конце 1950-х и в 1960-е гг., имеют совершенно иной облик: дома преимущественно пятиэтажные блочные и крупнопанельные, расположенные на значительном расстоянии друг от друга. Давление этих зданий на грунт меньше, чем кирпичных толстостенных домов. Плотность коммуникаций также снижается. Наконец, современные районы застроены высокими и высотными (более 14 этажей) крупнопанельными зданиями, значительно удаленными друг от друга. Здесь отмечается наименьшая плотность застройки и подземных коммуникаций.

Помимо архитектурно-строительных особенностей для жилых районов учтена плотность застройки. По этому признаку выделено три категории участков с плотностью застройки до 20, 20—40 и 40—60 %. Наибольшая плотность отмечается довольно редко и только в пределах старой части города. Более современные кварталы характеризуются плотностью менее 20 %.

Промышленные зоны подразделяются на производственные и подсобные. Наибольшее значение имеют первые, которые оказывают существенные и разнообразные нагрузки на геологическую среду в зависимости от характера производства (металлургическое, химико-технологическое, нефтехимическое и т. п.). Линейные сооружения подразделяются на наземные (улицы, шоссе и железные дороги) и подземные неглубокого (различные коммуникации) и глубокого (линии метрополитена) заложения. Могут быть показаны также артезианские скважины с указанием расхода воды и дренажи грунтовых вод.

Для каждого типа инженерных сооружений характерны свои виды воздействия на геологическую среду города. На незастро-



Типология инженерно-хозяйственного воздействия на геологическую среду (для карты города)

Тип застройки (оседения)			Характер и вид воздействия на среду	Реакция геологической среды
Тип оседения	Конструктивные функциональные особенности	Вид оседения		
Индустриально-туристичный	Пустыри	Нарушение земель	Загрязнение, кумуляционный сток	Загрязнение, эрозия
	Зеленая зона	Санитарные зоны	Источники загрязнения	Загрязнение
		Парки	Кустарниковые поляны, парковая рельефа	Подтопление, заболачивание
		Бульвары, скверы	Кустарниковые поляны, асфальтирование	Очаги подтопления
Сельскохозяйственный		Застройка плотностью до 20%	Механическая нагрузка на грунт, нарушение водоборота и стока грунтовых вод	Подтопление, изменение физико-химических свойств грунтов, суффозия, искусственная стабилизация и вторичная дестабилизация склонов (оползни, эрозия)
		20-40 и свыше 40 %	плывущая территория, формирование несущей способности	
Промышленно-туристический	Основное воздействие	Металлургическое производство	Тепловыделение, вибрация	Уплотнение грунтов, изменение физико-химического поля, загрязнение (в том числе тепловое)
		Машиностроение	Вибрация, наведение электромагнитных полей, загрязнение	Уплотнение грунтов, рост агрессивности грунтовых вод (бужающие токи), загрязнение
	Полное воздействие	Химические предприятия	Загрязнение среды	Загрязнение (химическое)
		Склады горючих смазочных материалов	То же	Загрязнение (нефтепродуктами)
		Энергетические подстанции	Наведение электромагнитных полей	Изменение физико-химических и фазовых свойств грунтов

Коммуникационный	Наземные коммуникации	Улицы, магистрали, шоссе	Вибрация, асфальтирование, планировка, загрязнение среды	Изменение режима грунтовых вод, тексотропные явления, линейная суффозия, рост агрессивности подземных вод Большое дорожное заболачивание, загрязнение подземных вод, подтопление Загрязнение подземных вод, рост их агрессивности Изменение свойств грунтов под влиянием наведенного электромагнитного поля Уплотнение грунтов, разжижение, деформации, просадки на поверхности Подтопление, загрязнение подземных вод и рост их агрессивности
		Железные дороги	Вибрация, загрязнение среды, наведение электрических полей	
		Трубопроводы	Утечки	
		ЛЭП	Наведение устойчивых электромагнитных полей	
	Подземные коммуникации	Метрополитен	Формирование глубокой контактной зоны, вибрация, нарушение сплошности массива	
		Трубопроводы	Утечки, формирование глубокой контактной зоны	

енных территориях в пределах парков, скверов и бульваров производят искусственные поливы, увеличивающие влажность поверхностных отложений. Для полигонов бытовых отходов характерны постоянное увеличение культурного слоя и активные биогеохимические процессы. Жилые кварталы характеризуются уплотнением пород основания, изменением их влажности и пористости. В районах с повышенной плотностью застройки грунты испытывают воздействие фундаментов. В связи с этим здесь обычно наблюдается наибольшее количество деформаций зданий и сооружений в результате неравномерного уплотнения грунтов. На территории жилых кварталов отмечается также постоянное отепляющее действие зданий на грунты, повышающее их среднюю годовую температуру. На участках преимущественного развития суглинистых пород под сооружениями происходит конденсация влаги. В местах обратной засыпки пазух котлованов и на участках неправильной планировки территорий наблюдается скопление атмосферных вод. Два последних процесса приводят к изменению влажности пород оснований, а в ряде случаев и к снижению их несущей способности.

Разнообразное воздействие на геологическую среду оказывают промышленные зоны. В районах сталели-

тейных заводов и ТЭЦ местами отмечается очень значительное тепловое воздействие на грунты. Песчаные грунты в основании этих предприятий, а также механических, машиностроительных заводов и фабрик испытывают значительные динамические нагрузки и вибрацию, что приводит к изменению их состояния. На территориях химико-технологических фабрик, заводов и складов горючесмазочных веществ, где возможны утечки технических растворов или горючесмазочных веществ, наблюдается загрязнение подземных вод. Подсобные, энергетические и складские промышленные зоны отличаются очень высокой плотностью застройки, и их воздействие на среду в какой-то степени близко к воздействию жилых кварталов.

Для наземных транспортных артерий, как известно, характерны динамические нагрузки, которые могут привести к разжижению песков, уплотнению суглинков и т. д. Кроме того, в результате асфальтирования улиц и магистралей происходит нарушение естественных процессов инфильтрации воды и транспирации.

Существенные изменения геологической среды наблюдаются вдоль трасс подземных коммуникаций, из которых происходят утечки воды, сточных вод, растворов и т. д. Все это приводит к изменению свойств вмещающих пород, подъему уровня и загрязнению грунтовых вод, образованию верховодки. Увеличение агрессивности грунтовых вод нарушает работу подземных коммуникаций и способствует увеличению утечек.

Линии метрополитена тоже оказывают значительное влияние на состояние геологической среды. Известны случаи, когда динамические нагрузки, вызванные движением поездов метро, способствовали неравномерному уплотнению слабых грунтов, что приводило к деформации зданий на поверхности. При строительстве метрополитена часто используют искусственное замораживание грунтов или осуществляют постоянное водопонижение — все это также сопровождается изменением свойств геологической среды.

Для выявления фактов противоречия между инженерно-геологическими условиями территории и инженерными решениями ее застройки на карту условными знаками наносят деформации зданий и сооружений и причины этих деформаций. Наибольшее число деформаций, как правило, связано с неравномерным уплотнением слабых, преимущественно насыпных, грунтов и приурочено к жилым кварталам старой застройки (повышенной плотности). Среди других причин, вызывающих деформации зданий и сооружений, следует отметить динамические нагрузки, снижение уровня напорных вод, повышение уровня грунтовых вод, утечки производственных вод и вод из подземных коммуникаций, а также строительство метро и подземных коммуникаций.

В рассмотренной легенде сочетаются оба подхода к содержанию карт техносферы: в ней отражены объекты техносферы

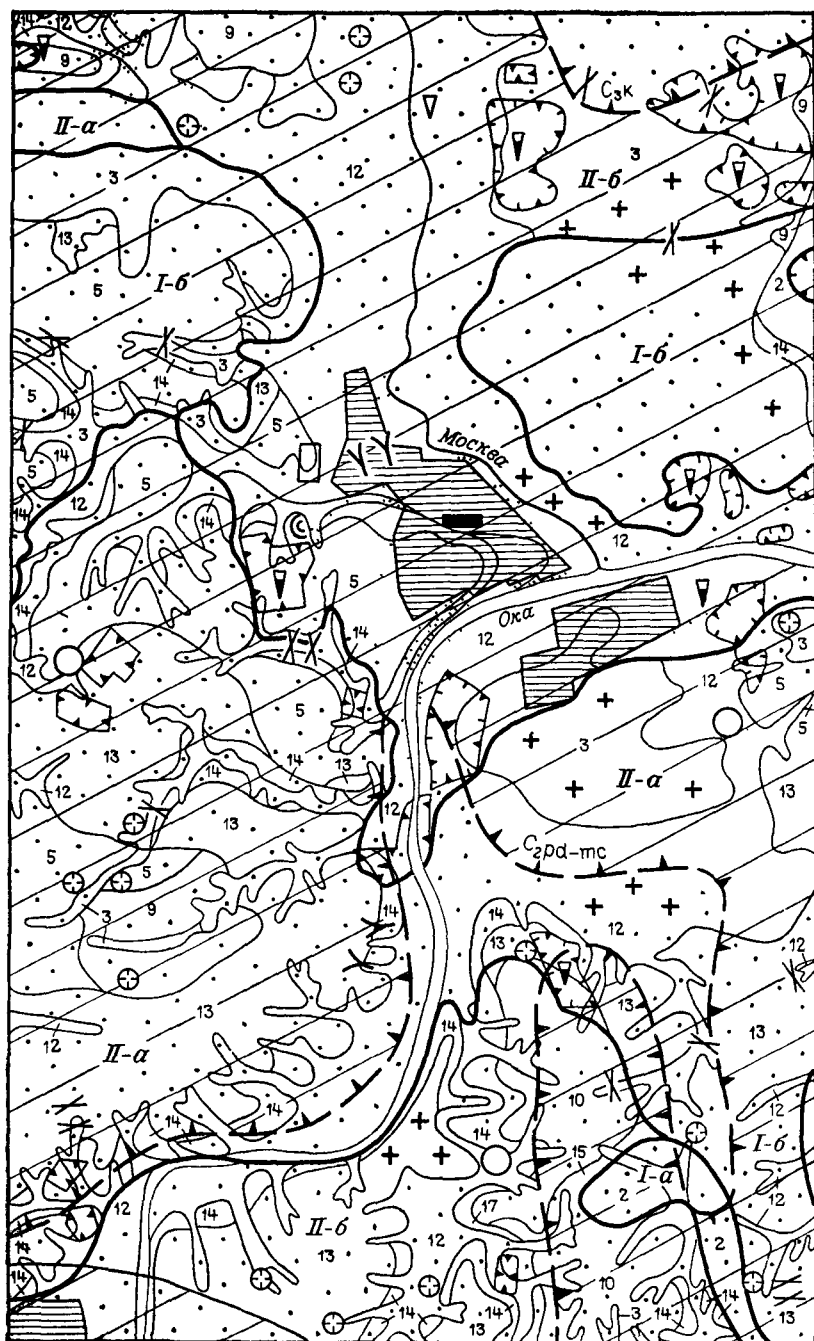
и показаны особенности их воздействия на геологическую среду.

При составлении таких карт нужно иметь в виду ряд важных методических особенностей создания картографических моделей техносферы. Объекты техносферы показываются на картографических моделях в своих реальных (так называемых географических) границах, а не в формально-административных. Так, площадь техногенного воздействия крупного города на геологическую среду не ограничивается его административной границей: она гораздо обширнее и включает зоны отдыха, пригороды, связывающие их коммуникации, зоны влияния водозаборов подземных вод и другие функционально связанные с ним объекты. При этом зоны отдыха, задуманные как экологически чистые, могут оказаться более опасным загрязнителем среды, чем современные промышленные объекты. Специальное обследование рекреационных зон свидетельствует о том, что в процессе их функционирования увеличиваются площади, занятые вспомогательными службами, возрастает нагрузка на коммуникации, учащаются аварийные ситуации, происходят сброс загрязненных стоков в открытые водоемы, загрязнение подземных вод и деградация природных ландшафтов, которая может привести к активизации эрозионных, склоновых и эоловых процессов.

Инженерно-геоэкологические исследования нельзя ограничивать геологической средой, необходимо проследить все ее связи с другими средами. В этой связи еще раз отметим перспективность использования для целей геоэкологического мониторинга материалов дистанционных съемок.

Второй методической особенностью картографических моделей техносферы является то обстоятельство, что в реальной ПТС воздействие отдельных источников (объектов техносферы) часто накладывается одно на другое, суммируется, подавляется или видоизменяется. Техногенное воздействие промышленного региона на геологическую среду настолько разнообразно, что при создании соответствующей модели необходимо придерживаться какой-то единой классификации антропогенных воздействий. К сожалению, такая классификация не разработана. Представляется, что она должна учитывать источник, характер и результаты воздействия. При этом целесообразно использовать классификации, разработанные для природных геологических явлений.

Для проектирования крупных территориально-производственных комплексов модель техносферы может носить прогнозный характер. Такая модель была разработана Ю. Б. Елисеевым и В. С. Мелентьевым в 1980 г. для Южно-Якутского территориально-производственного комплекса. Вся территория была разбита на три зоны: 1) застройки и горнопромышленного освоения; 2) подсобного хозяйства и рекреации; 3) опосредствованного влияния. При этом были учтены факторы реконструкции



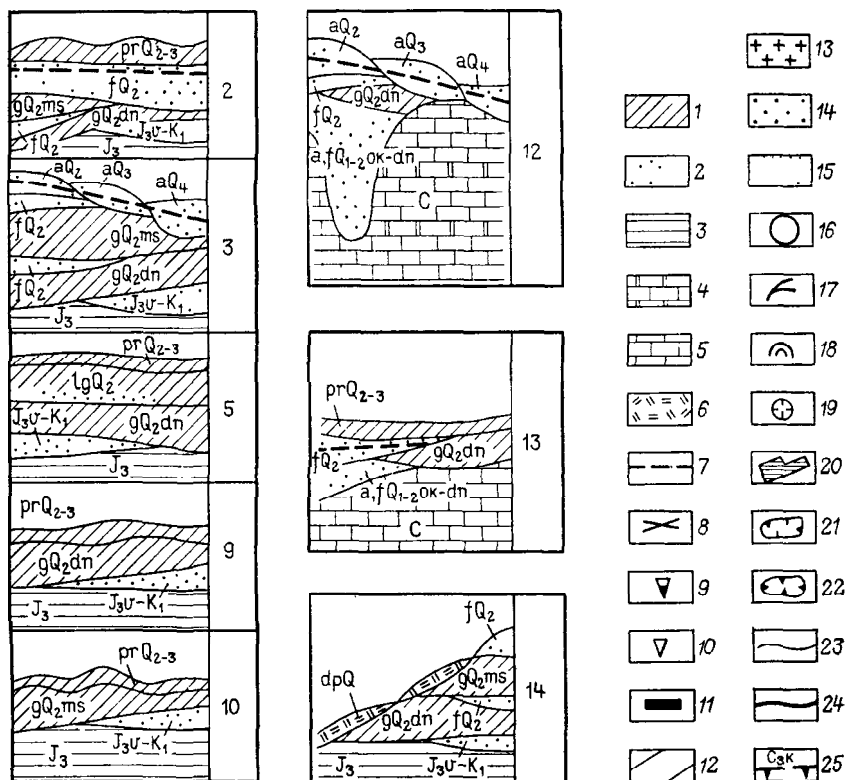


Рис 8. Карта изменений геологической среды (масштаб 1 : 200 000).

1 — суглинки, 2 — пески, 3 — глины, 4 — доломитизированные известняки, 5 — известняки, 6 — торф, 7 — уровень подземных вод, 8 — плотины на малых реках, 9 — изменения гидрогеологических условий, 10 — на месторождениях полезных ископаемых, 11 — в зоне водозабора, 12 — частичное осушение первого карбонатного ролотического горизонта, 13 — формирование гидрокарбонатных грунтовых вод, слабо агрессивных к бетону, 14 — формирование гидрокарбонатно-хлоридных грунтовых вод, агрессивных к бетону, 15 — формирование гидрокарбонатно-сульфатных и сульфатных грунтовых вод, сильно агрессивных к бетону, 16 — интенсивное загрязнение органическими веществами, 17 — активизация природных и возникновение инженерно-геологических процессов овражной эрозии (17) и оползней (18), 19 — подавление природных геологических процессов — замедление карстования и ликвидация карстовых форм, 20—22 — комплексные изменения геодинамической ситуации на территориях городов (20), на месторождениях фосфоритов и известняков (21), на месторождениях песков и глин (22), 23—25 — границы (23 — типов строения геологической среды, 24 — территорий с различной степенью измененности геологической среды, 25 — распространения каширского и подольско-мячковского каменноугольных доносных горизонтов. Степень измененности геологической среды 1 — изменения незначительные, не требующие инженерной защиты территории, преимущественно обратимые (1—4) и стабилизировавшиеся (1—6) 11 — изменения значительные, требующие инженерной защиты территории, стабилизировавшиеся (11—12) и нарастающие во времени (11—12) Цифрами на рисунке даны номера соответствующих типовых разрезов 2—14 (колонки)

рельефа, почв и растительного покрова; изменения режима и величины снегонакопления, мощности, состава и свойств сезонно-талого слоя, состава поверхностных вод, радиационного режима и условий формирования слоя техногенных накоплений.

Полученные параметры использовались в расчетах при выяснении мерзлотных свойств массива. Каждый из факторов оп-

Классификация геотехнических сред по устойчивости к инженерно-хозяйственному воздействию

Идентификатор	Степень устойчивости	Геоморфологическая характеристика	Главные факторы устойчивости	Возможные геологические процессы	Рекомендации
1	Высокая	Среднечетвертичные флювиогляциальные равнины	Песчаный состав отложений, ровная, слабо возмущенная поверхность, глубина залегания грунтовых вод более 3 м	Загрязнение грунтовых вод, суффозия	Защита грунтовых вод от загрязнения
2	Средняя	Среднечетвертичные-временные водноледяные и пойменные террасы	Песчаный состав отложений, глубина залегания грунтовых вод 0,1—3 м, заболоченность и слабая дренированность	Подтопление, заболачивание, суффозия	Инженерная защита от подтопления
3	Среднечетвертичная (двухлопастная) равнинная	Среднечетвертичные равнинно-ледниковые равнины	Значительная мощность ледниковых глин (до 15 м), широкое пахование междуречья	Подтопление, заболачивание; повреждение верховодки; морозные пучение	То же
4	Среднечетвертичные слабо расчлененные	Среднечетвертичные (двухлопастные) лесные равнины	Средняя мощность (3—10 м), покровные суффозии, заболачивание	Подтопление, заболачивание, коррозия пучение	"
5	Среднечетвертичные сильно расчлененные	Среднечетвертичные сильно расчлененные	Средняя мощность (5—10 м, узкие междуречья, расчлененное пространство	Ослабленная эрозия, обвалы	Защита от эрозии и оползней
6	Низкая	Погребенные и средне-мелкие речные долины	Отсутствие региональных водолупающих, закарстовых структур	Карст, суффозия, загрязнение, перекосы	Ограничение водоотбора из глубинных водонасыщенных горизонтов
7	Среднечетвертичные флювиогляциальные и ледниковые равнины на покое парог карбонатах	Среднечетвертичные флювиогляциальные и ледниковые равнины на покое парог карбонатах	То же	То же	То же
8	Низкая	Низкая степная уступов	Низкая степень устойчивости склонов	Оползание, осыпи, обрушения	Укрепление склонов

ределенным образом влиял на мерзлотные условия территории, причем иногда неоднозначно. Так, увеличение мощности снежного покрова вначале вызывало общий рост температуры на поверхности почв (для изучаемой территории примерно на  $3^{\circ}\text{C}$ ), а затем, после достижения некоторой критической величины, ее снижение. Анализ суммарного влияния всех факторов на мерзлотные условия территории позволил прогнозировать такие процессы как криосолифлюкция, пучение, образование криопэгов и т. д. Подобные карты техносферы, учитывающие характер влияния будущего производственно-жилого комплекса на среду, необходимы для прогноза изменения инженерно-геологических условий при освоении территории.

**Прогнозные модели геологической среды промышленных регионов.** Прогнозируя изменения геологической среды под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности человека или планируя мероприятия по управлению геологическими процессами, нельзя обойтись без оценки и анализа таких свойств этой среды как устойчивость и измененность (рис. 8 и табл. 6). Оба эти свойства или качества среды тесно связаны между собой, и одно во многом определяет другое.

В литературе встречается большое число синонимов устойчивости окружающей среды: чувствительность к техногенным нагрузкам, упругость, восстанавливаемость, инертность, или лабильность, природных систем. Такое разнообразие свидетельствует об определенном интересе к этому понятию. В своей работе мы придерживаемся термина «устойчивость», исходя из семантической его корректности по отношению к обозначаемому свойству геологической среды.

Если проанализировать все известные определения термина «устойчивость» среды, то они легко подразделяются на три класса. В основе каждого класса лежит свой принцип конкретизации объекта. В первом случае устойчивость системы трактуется лишь относительно вполне определенного вида воздействия на нее. Во втором предполагается, что свойство устойчивости среды или части системы «человек — среда» является изначальным и не зависит от внешнего воздействия. О третьей позиции мы скажем несколько позднее.

В практике инженерно-геологических исследований понятие «устойчивость» трактуется чаще всего именно с первой позиции. Тем более, что она позволяет оперировать такими критериями как предельно допустимые концентрации (ПДК), порог устойчивости, критическое состояние системы и рядом других, которые облегчают решение задачи количественной оценки этого свойства среды. Главным недостатком такого подхода следует считать многовариантность понятия «устойчивость». В этом случае вполне конкретная природная система обладает столькими видами «устойчивости», сколько видов нагрузок на нее существует, т. е. число их не имеет предела.



Часто можно встретить и другую, более общую, трактовку рассматриваемого понятия. В качестве примера приведем определение устойчивости или чувствительности, предложенное Г. С. Вартаняном, А. А. Шпаком, Т. А. Грязновым, К. И. Сычевым и др., согласно которому чувствительность геологической среды — это свойство воспринимать или реагировать на воздействия со стороны техногенных факторов (деятельности человека), которое проявляется в изменениях формы, состава и состояния твердого или жидкого компонентов среды или обоих совместно. В целом определение не выходит за рамки самых общих категорий.

Третий принцип базируется на покомпонентном определении устойчивости через выяснение подверженности отдельных компонентов геологической среды техногенным изменениям. Существует несколько видов устойчивости среды: геодинамическая, гидрогеологическая и др. Для решения задач, связанных с конкретным строительством, это удобно, особенно если воздействие ограничивается одним-двумя определенными компонентами среды. При региональном прогнозировании, когда изменения одного компонента приводят в действие всю сложнейшую систему связей между ним и соседними элементами среды, такой упрощенный подход чреват серьезными ошибками. При этом общую устойчивость системы нельзя рассчитать как сумму показателей устойчивости ее отдельных компонентов. До сих пор не утихают споры вокруг проектов переброски части стока рек или создания равнинных водохранилищ, для которых расчеты устойчивости и реакции каждого компонента затрагиваемой среды сделаны на достаточно высоком уровне, а комплексная оценка результатов страдает множеством неопределенностей.

Рассматривая региональное свойство устойчивости, нельзя ограничиться одним или несколькими видами и формами воздействия на среду из-за большой сложности состава и структуры техносферы региона. Сферы влияния источников техногенеза пересекаются, а само влияние взаимопогашается или усиливается. В то же время и при покомпонентной оценке устойчивости среды региона остается много неясностей в общем изменении геологической среды. Нередко при оценке устойчивости системы оперируют нормой предельно допустимых нагрузок или предельным порогом равновесия, за которым наступают ее необратимое изменение и переход в качественно новое состояние. До этого критического порога природная система обладает определенным потенциалом самовосстановления после снятия нагрузок и прекращения притока вещества или энергии извне. Такие параметры системы весьма удобны для оценки внешних компонентов ландшафта (например, водоемов, биоценозов, почв или биогеоценозов в целом).

Геологическая среда, испытывая воздействие техносферы, в большинстве случаев теряет реальную возможность возврата в изначальное состояние. Перепланированный рельеф, искусствен-

ные отсыпки, водохранилища и каналы — эти новые составляющие среды так же постоянны, как ее естественные компоненты. Даже длительное нарушение режима подземных вод — процесс сам по себе обратимый — способствует приобретению геологической средой совершенно новых и стабильных качеств. Так, оттаивание многолетнемерзлых пород в зоне теплового потока, например, под газопроводом, после его ликвидации не сменяется компенсирующим наступлением мерзлоты. После устранения внешнего источника тепла температурный режим этой ячейки биосферы будет соответствовать новым условиям обводнения (просадки, заозеривание), рельефа и мохового покрова (солифлюкция, разрывы почв). Чем дольше и интенсивнее воздействие, тем серьезнее необратимые изменения.

Устойчивость природной системы с учетом ее положительно-го экологического потенциала — это ее естественная или искусственно измененная сопротивляемость энергии техносферы (человека), направленной на ломку ее структуры, состояния и качества. Устойчивость определяет характер и интенсивность реакции среды на техногенное воздействие. Сопротивляемость этому воздействию включает и защищенность подземных сфер от массоэнергопотока, генерируемого техносферой. Теперь несколько конкретизируем это определение, введя для удобства его практического использования ряд ограничений.

Влияние техносферы на геологическую среду нередко выражается в механических преобразованиях, суть которых может быть представлена в виде геологических, инженерно-геологических и гидрогеологических процессов, загрязнении органическими и химическими веществами и наведении геофизических полей. Последние также находят свое отражение в экзогенных геологических процессах и изменениях условий загрязнения подземных сфер. С учетом этого в качестве критериев региональной оценки устойчивости геологической среды к внешнему воздействию были взяты сила и масштабы экзодинамической реакции среды на внешний раздражитель и защищенность подземных сфер, а именно тех их этажей, которые содержат чистые питьевые воды, от проникновения и распространения элементов-загрязнителей.

В определении понятия «устойчивость геологической среды», приведенном выше, два момента требуют пояснения. Во-первых, устойчивость природной системы не абсолютна, а может изменяться под влиянием инженерной деятельности человека. Ранее неустойчивая территория после определенных природоохранных мероприятий вполне может перейти в разряд устойчивых и наоборот.

Строительство и любое другое освоение территории так или иначе влияет на ее устойчивость к внешним воздействиям. Иными словами, сами эти внешние воздействия формируют устойчивость ПТС. Селеопасные горные склоны относятся к весьма неустойчивым системам, но вмешательство человека, возведение

селезащитных плотин способствуют устранению главной причины появления селевых потоков, и таким образом эти склоны могут быть переведены в разряд устойчивых, хотя все факторы зарождения селевого процесса здесь остаются неизменными.

Совмещение аналитических карт, отражающих устойчивость и характер измененности среды (плотина, например, является искусственной частью среды), позволяет провести переоценку природной устойчивости территории к внешнему воздействию с учетом реальных инженерно-хозяйственных мероприятий по стабилизации экзодинамической обстановки, природоохранных мер и т. д.

Здесь мы сталкиваемся с тем, что человек сам конструирует нужные ему условия, повышая устойчивость ПТС, гася негативные геологические процессы, т. е. социологизируя окружающую среду. И в связи с этим нередки ситуации, когда при освоении территории необходима такая ее подготовка, которая связана с серьезной реконструкцией рельефа, осушением, изменением всей экзодинамической обстановки. Это касается в первую очередь городского и промышленного строительства, рекреации, сельско- водо- и лесохозяйственной деятельности человека в аридных условиях, на участкахдвигающихся песков, болот и торфяников. Такие участки по предлагаемой схеме попадают в разряд неустойчивых, хотя по своей природе они далеко не лабильны.

Болотные системы довольно устойчивы, особенно на олиготрофной стадии развития. Но при подготовке к строительству болота, как правило, ликвидируют, и ландшафт теряет свой главный, определяющий его тип, компонент. Примером могут служить Ленинград, Архангельск и, в какой-то мере, Москва, выстроенные на некогда заболоченных землях.

Таким образом, при оценке устойчивости территории приходится учитывать ее положительный или отрицательный экологический потенциал и необходимость (точнее, предопределенность) серьезной инженерной реконструкции, в результате которой меняется тип ландшафта.

При определении устойчивости оценивают тип геологического строения, морфологию (энергия рельефа, расчлененность, крутизна склонов), геодинамическую обстановку, глубину и защищенность подземных вод, а также другие факторы, о которых речь шла выше. При картографировании геологической среды Московского региона мы ограничились тремя таксономическими типами устойчивости: высокая, средняя и низкая, хотя число градаций не регламентируется.

Территории с высокой степенью устойчивости геологической среды удобны для всех видов освоения, экзогенные геологические процессы здесь малоактивны и не катастрофичны, а подземные воды надежно защищены от загрязнения с поверхности. В районах криолитозоны — это участки развития скальных пород основания.

Территории со средней степенью устойчивости геологической среды более разнообразны по своим природным характеристикам. К ним относятся участки, требующие инженерной профилактики (защиты). При этом необходимо учитывать геологические процессы, которые несут угрозу сооружениям или создают обстановку экологического дискомфорта, снижения рекреационного и эстетического потенциала ландшафта, а также продуктивности сельско- и лесохозяйственных земель. Подземные воды здесь защищены, хотя и не везде одинаково. В ней имеются ограниченные участки разрыва сплошности верхнего водоупорного слоя. В зоне многолетнемерзлых пород — это участки развития рыхлых отложений с устойчивым температурным режимом. Опыт строительства на подобного рода участках накоплен довольно большой.

Низкая степень устойчивости геологической среды определяется вероятностью возникновения катастрофических геологических процессов, угрожающих жизни людей. К территориям с этой степенью устойчивости среды относятся селе- и лавиноопасные участки, крупные оползни, участки свежих карстовых провалов, районы развития островной мерзлоты с неустойчивым температурным режимом и наличием мерзлотных перелетков, пучения, активного термокарста, солифлюкции, зоны современного вулканизма. Кроме того, к ним относятся районы, где подземные воды глубоких горизонтов не защищены от проникающего извне загрязнения. При этом существует опасность ухудшения качества чистых подземных вод, пригодных для питьевого использования. На таких территориях нецелесообразны все виды промышленно-городского строительства. В случаях острой необходимости такого рода строительства следует принять серьезные меры по защите людей от катастрофических природных процессов, а природной среды от необратимого загрязнения глубоких горизонтов.

Антропогенная измененность территории или геологической среды промышленно развитых регионов оценивается по двубалльной системе: изменения незначительные и значительные. Предполагается, что неизмененных участков на таких территориях нет. В случае необходимости можно ввести и третью градацию — естественные природные территории.

Районы с незначительным изменением геологической среды отличаются тем, что для защиты ее от техногенного воздействия здесь не требуется принятия специальных мер. Все компоненты геологической среды здесь сохранены, а контазона отсутствует или весьма незначительна.

Выделяют два подтипа измененности геологической среды. Первый связан с участками, где ее изменения вполне обратимы. Это сравнительно небольшие территории сельского строительства, лесохозяйственные и садоводческие участки, где геологическая среда развивается в квазиестественных условиях. Второй подтип характеризуется необратимыми изменениями

микрорельефа, почв и состава приповерхностных отложений. Эти изменения мало влияют на эволюцию геологической среды, они хорошо вписались в ее структуру, гармонично сочетаются с геодинамической ситуацией и природными циклами и вполне отвечают хозяйственному назначению территории. Как правило, техногенная составляющая среды здесь недостаточно энергоактивна.

Геологическую среду значительно измененных территорий обязательно надо защищать от энергоактивной техносферы. Природные компоненты в зоне активных контактов системы «человек — геологическая среда» трансформированы, а контазона четко выражена и также энергоактивна. И здесь можно выделить два подтипа измененности среды: первый характеризуется стабилизацией процессов техногенеза, а второй — их нарастанием во времени.

Старые крупные водохозяйственные системы, районы старых горных выработок и центры городских агломераций относятся к подтипу сильно измененных территорий. Геологические процессы здесь подчинены законам естественной цикличности. Устойчиво работающие гидротехнические системы и промышленные комплексы также создают довольно стабильный энергофон. Здесь развиваются как наведенные, так и природные (но измененные техносферой) геологические процессы, которые в равной мере подчиняются и климатическим, и технологическим циклам.

Нарастающие во времени изменения особенно четко проявляются на территориях новых городских кварталов, на осваиваемых месторождениях, по берегам водохранилищ в первое время после их заполнения.

Районирование территории по измененности и устойчивости может расцениваться как инженерно-геоэкологическое, так как по своей направленности, через оценку состояния геологической среды, учитывает в конечном счете сами условия жизнедеятельности человека. Типизация региона по этим параметрам (состояние и качество) среды помогает выявить типичные ситуации в системе «среда — воздействие — реакция», которые затем могут быть представлены в качестве прогнозных модулей. Эти модули используются при планировании мероприятий по управлению процессами, протекающими в геологической среде.

М. А. Глазовская предложила выделить в биосфере так называемые технобиомы, в которых в одну систему соединились искусственная и естественная составляющие ландшафта. В какой-то степени это понятие сходно с понятиями «природно-технические системы» или «техногеосистемы», но с экологических позиций оно более емкое, так как затрагивает не только среду, но и формы жизни в ней.

Зная тип геологической среды и вид воздействия, мы в итоге должны получить конкретный тип технобиомы. Если он не удовлетворяет планируемому, ожидаемому условиям, то необходимо предусмотреть ряд инженерных мероприятий по улучше-

нию этой технобиогемы или ПТС. В этом основа и прогнозирования, и управления процессами геологической среды, ее состоянием и качеством.

Разработанная картографическая модель геологической среды может быть использована для региональных прогнозных построений [1]. Она отражает современное состояние природной среды и техносферы и содержит сведения о всех геологических процессах эволюции и техногенного изменения этой среды на определенный период времени. Вместе с тем принятый принцип типологического районирования геологической среды как объекта техногенного воздействия и техносферы как фактора воздействия позволяет выделять или конструировать различные модули<sup>1</sup> природно-технических (экотехнических) систем. Прогнозное конструирование таких модулей может основываться как на аналогиях, так и на концепциях детерминированной реакции геологической среды при конкретном виде воздействия на нее.

Использование карт и аэрофотоматериалов прошлых лет открывает широкие возможности для построения генетических цепочек таких модулей, которые покажут закономерности изменения выделенных типов геологической среды в ходе реализации планов освоения земель и совершенствования технологии производства. Кульминацией таких изменений является переход одного типа геологической среды в другой, с иными свойствами и качеством. В основе такого рода построений лежит принцип выделения ландшафтно-генетических рядов, разработанный С. В. Викторовым.

Региональный прогноз с использованием метода аналогий призван отразить общую картину ожидаемых изменений природной среды с учетом планов и проектов ее освоения и преобразования. Перед инженерно-геологическими службами города и области, планирующими органами и органами управления народным хозяйством региона, как правило, стоят две кардинальные задачи, предшествующие этапу строительства: 1) где разместить объект (от городских кварталов до садовых участков) с наименьшим ущербом для среды и в оптимальных природных условиях; 2) какую реакцию среды следует ожидать на конкретном участке при реализации плана его освоения.

На практике заявки на временной прогноз развития того или иного геологического процесса крайне редки. Проектировщиков прежде всего интересует наличие или отсутствие конкретного процесса в зоне строительства или вероятность (риск) его проявления здесь. При этом риск принимается ими как факт наличия прогнозируемого процесса.

В практике наших работ по специальному картографированию территории Московского региона эти вопросы варьировались, конкретизировались, дополнялись деталями, но по своему

---

<sup>1</sup> Термин «модуль» точнее отражает смысл выделяемого пространственного объекта, чем более привычное для геологов понятие «участок».

общему смыслу оставались теми же. В конечном счете это и определило как способ составления, так и содержание прогнозов.

Прогнозные построения изменений геологической среды основываются на информации о типах ее строения, дополненной оценками устойчивости каждого из выделенных типов строения по отношению к инженерно-хозяйственному воздействию и степени техногенной измененности. Легенда такой прогнозной карты представляет собой матрицу, колонки которой содержат сведения о типах строения геологической среды, а строчки — о видах техногенного воздействия. На полях пересечения приводится характеристика ожидаемой реакции геологической среды или ряд парагенетически связанных геологических процессов ее изменения. Этот принцип построения прогнозных карт прошел апробацию при картографировании инженерно-геологических условий Московского региона, Талнахского промышленного узла и динамично меняющейся обстановки островов дельты Северной Двины.

Идея создания прогнозных или прогнозно-следственных матриц не нова. Еще в начале 1970-х гг. в трудах Геологической службы США была опубликована работа Л. Леопольда с соавторами, в которой рассматривались примеры практического использования матриц типа «среда — воздействие — реакция». Представляют также интерес ступенчатые матрицы Дж. Соренса и сложные матрицы межкомпонентных связей, предложенные канадскими исследователями.

Мы использовали более простые прогнозные матрицы, в основе которых лежат бинарные функциональные зависимости. На наш взгляд, они наиболее удобны для отображения факторов-аргументов (условия и нагрузка) на специальных картах. Принципы подобного рода отображения детально разобраны в картографии и широко используются, в частности при геодинамическом или ландшафтно-индикационном картировании.

Прогнозная карта легко трансформируется в картографическую модель рекомендательного плана. Для этого необходимо лишь изменить содержание ячейки пересечения и вместо перечня и характеристики прогнозируемых изменений дать рекомендации по управлению процессами изменений, инженерной подготовке и защите территории, охране недр или восстановлению нарушенных земель.

Картографическая модель геологической среды — лишь один из элементов сложной информационной системы получения, хранения, обработки и представления информации. В эту систему включен современный электронно-вычислительный комплекс, позволяющий ввести прогнозную матрицу в машинную память. В этом случае потребитель информации может сам в диалоговом режиме, задав в качестве условия выбранные виды техногенного воздействия и типы подвергаемой воздействию среды, получить на экране дисплея ответ, раскрывающий характер реакции среды и содержащий рекомендации по предотвращению

последствий негативных геологических процессов или борьбе с ними, а также по защите подземных сфер от загрязнения с поверхности.

Машинный способ записи прогнозной информации позволяет практически неограниченно совершенствовать и детализировать прогнозную матричную модель по мере поступления новой информации или в ходе развития теоретических представлений о геологических процессах, механизме их протекания и факторах зарождения.

Первые, наиболее схематичные, прогнозные модули, основанные на априорных, а точнее, апостериорных и теоретических знаниях, во многом концептуальны. В дальнейшем, по мере усложнения модели увеличиваются ряды аналогов с хорошо изученной реакцией системы «вид воздействия — тип среды».

Типы строения геологической среды и виды техногенного воздействия на региональном уровне картирования требуют определенной генерализации, чтобы не перегрузить прогнозные или рекомендательные карты слишком мелкими контурами, затрудняющими восприятие ситуации в целом. Но с переходом на машинные средства хранения и преобразования информации мы легко можем практически любую ячейку матрицы (табл. 7), которую можно классифицировать как прогнозную матрицу первого уровня детализации (ПМ-I), представить в виде новой, более дробной матрицы, в которой по вертикальной шкале выделяются подтипы геологической среды, а по горизонтальной — подвиды воздействия (см. табл. 7Б). Так мы получим прогнозную матрицу второго уровня детализации (ПМ-II).

Точно так же ячейку ПМ-II можно представить в виде новой матрицы, в которой подтипы среды дробятся с еще большей детальностью на морфологические типы или типы ландшафта, а подвиды воздействия — на зоны прямого и опосредствованного влияния на среду. Видимо, детализация и элементаризация прогнозных матриц могли бы продолжаться до бесконечности, но практика убедительно показала, что трехуровневая детальность вполне достаточна для удовлетворения потребностей регионального прогнозирования.

Потребитель информации, работающий в диалоговом режиме с ЭВМ, ставит свои условия и получает на экране прогноз или рекомендации, или то и другое вместе. Для того, чтобы воплотить прогнозные ситуационные построения в пространственные образы, необходимо ввести в память ЭВМ и карту типов геологической среды региона. Для Московской области можно использовать систему пиксел, разработанную для постоянно действующей модели геологической среды этой территории. Она рассчитана на квадраты со сторонами 4 км (региональный уровень), 1 км (локальный уровень) и 0,25 км (детальный уровень).

Кодировка прогнозной матрицы, замена слов цифровой и буквенной символикой, значительно повышает информативную



## Примеры заполнения прогнозных матриц

## А Первый уровень детализации (региональный)

Тип строения геологической среды	Тип ПТС	Прогнозные изменения геологической среды	
		Новые процессы, активизация природных процессов	Подавление природных процессов
II	Горнодобывающий	Загрязнение подземного пространства, перемещение пород (техногенная денудация, аккумуляция), техногенная суффозия, осыпи, оползни по бортам карьеров, активизация процессов выветривания	Снижение уровня грунтовых вод; осушение болот (на границе с горной выработкой)

## Б Второй уровень детализации (локальный)

Подтип строения геологической среды	Подтип ПТС	Прогнозные изменения геологической среды	
		Новые процессы активизация природных процессов	Подавление природных процессов
II <sub>1</sub>	Торфодобыча	Перемещение торфа, развевание торфа и песка, евтрофикация озер, образование новых водоемов, оплывание по торфу	Ликвидация болот и малых рек, замена их каналами-канавами, развитие торфяной солифлюкции

## В Третий уровень детализации (детальный)

Тип ландшафта	Элемент ПТС	Прогнозные изменения геологической среды	
		Новые процессы, активизация природных процессов	Подавление природных процессов
II <sub>1</sub> <sup>6</sup>	Участок добычи	Развевание торфа, осушение, локальное загрязнение подземного пространства (по осушительным канавам), евтрофикация водоемов, новые очаги заболачивания	Переувлажнение и пучение, развитие торфяной солифлюкции, ликвидация процессов заболачивания, почвы и растительности

емкость принятой системы, но затрудняет восприятие информации. Этот недостаток легко устранить, если использовать программы декодирования символики и воспроизведения на экране и в распечатках обычного текста.

Выше мы опирались на опыт прогнозирования в средней полосе европейской части СССР, в пределах Московского региона. В районах развития многолетнемерзлых пород специфика ситуационного прогнозирования во многом связана с тем, что вся такая территория может классифицироваться как неустойчивая по отношению к инженерно-хозяйственному воздействию.

Многолетнемерзлые породы распространены на огромной территории. Около 47 % площади нашей страны входит в состав криолитозоны, глубина которой достигает 1 км. Наиболее серьезные изменения геодинамической обстановки при строительстве в северных районах связаны с нарушением теплового баланса. Последствия этих нарушений нередко необратимы. При нарушении положительного теплового баланса активизируются такие процессы как протаивание и проседание, термокарст, термоэрозия и солифлюкция. При нарушении отрицательного теплового баланса активизируются лущение и растрескивание горных пород, наледообразование. Можно привести немало примеров деформации и разрушения строений при самых незначительных отступлениях от принятой технологии строительства в криолитозоне. Так, построенный в 1950-х гг. в пос. Чульман (Якутия) бытовой комплекс из-за недостаточной изоляции от пород основания через непродолжительное время после ввода в эксплуатацию был деформирован и частично разрушен. Еще более серьезные последствия нарушения технологии укладки труб и их изоляции наблюдались на линиях северных газопроводов, где процессы термокарста приводили к деформациям, а иногда и разрывам труб. Сходные случаи отмечались на Аляске.

В таких случаях региональный прогноз реакции геологической среды на возведение инженерных сооружений приобретает особую остроту и актуальность. Принцип прогнозирования постоянен, меняется лишь ряд критериев прогнозирования, их иерархия и число.

При длительном освоении территории снижение качества прогнозирования нередко связано с неучтенными труднопредсказуемыми нарушениями естественного состояния среды (погребенные свалки, отвалы пород, брошенные коммуникации). Примером может служить Икшинский оползень в Подмоскowie, который захватил грунты старых отвалов примерно 50-летней давности.

Вообще региональный прогноз прежде всего указывает на риск строительства, конкретизирует его и сосредоточивает внимание проектировщиков на вполне определенных геологических процессах. Эти прогнозы не должны ограничиваться естественной устойчивостью территории, а учитывать также те измене-

ния, которые вызывает любая, даже неучтенная деятельность человека.

Возвращаясь к Икшинскому оползню, отметим, что причиной его стал небольшой водоем. Предполагалось, что фильтрация вод из него и их разгрузка в реку не вызовут опасного нарушения устойчивости склонов долины, врезанной в песчаные четвертичные отложения. При этом остался неучтенным факт некогда проведенного сброса вскрышных глинистых пород с ближайшего (уже не действующего) карьера. Именно они и стали экраном, который затруднил разгрузку фильтрующихся вод, создавших гидродинамический напор на него и нарушивших равновесие массива. В результате экран глинистых пород был разрушен, произошло довольно крупное оползневое смещение и облик склона изменился.

Через небольшой промежуток времени сходное явление можно было наблюдать вблизи Дмитрова. Примерно в то же время нами был обследован свежий оползень под стадионом во Владимире, где утечки воды из коммуникаций вызвали весьма похожие смещения грунтов отсыпки, перекрывших склон долины небольшой реки.

Все эти участки на существующих картах не были выделены как оползнеопасные, поскольку раньше оползневых проявлений здесь не наблюдалось и по характеру естественных геологических условий территории они не были оползнеопасными.

Выше рассмотрены ситуации, учитывающие угрозу, которую несут геологические процессы или геологическая среда объектам техносферы. Но при инженерно-геоэкологическом прогнозировании не менее важны и те участки, где деятельность человека чревата негативными изменениями самой геологической среды. В этом случае прежде всего оцениваются защищенность подземных сфер от проникновения загрязнения с поверхности, эрозионная устойчивость почв и грунтов, процессы заболачивания и другие показатели состояния среды, связанные с ее лабильностью и реакцией на техногенное воздействие.

Прогноз тесно связан с проблемой управления процессами геологической среды. При этом техническая сторона вопроса управления такими процессами выходит за рамки геологии. Вместе с тем сам региональный прогноз служит той информационной базой, которая лежит в основе всех планов и проектов природоохранных мероприятий по инженерной защите ее наименее устойчивых компонентов. Одновременно он учитывается и при планировании инженерной подготовки территории и защиты сооружений. По сути прогноз — первая стадия управления состоянием среды, стадия принятия решений. Это наиболее важная стадия, так как именно от нее зависят и результативность, и экономическая обоснованность последующего технического вмешательства в природные процессы территории с целью регулирования взаимоотношения элементов техносферы и природной среды.

## Глава 2

# МОСКОВСКИЙ РЕГИОН — ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПОЛИГОН ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

## 2.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

### Природные особенности

Московский регион рассматривается нами в административных границах Московской области, которая занимает территорию в 47 тыс. км<sup>2</sup>, расположенную в центре Восточно-Европейской, или Русской, равнины, на междуречье Оки и Волги.

Современный рельеф региона сформировался в процессе многократных оледенений и последующих флювиальных явлений времен деградации ледников. Эти глобальные климатические циклы, вероятно, связаны с крупными тектоническими подвижками (опускания — воздымания) земной коры с их ритмичной сменой периодов накопления и размыва аккумулятивных отложений.

В физико-географическом отношении территория делится на 17 районов, заметно различающихся рельефом, почвенным и растительным покровом (рис. 9, табл. 8).

Регион отличается довольно густой речной сетью и обилием озер. Все реки Подмосковья принадлежат к бассейнам Оки и Волги. Сами эти две крупнейшие реки европейской части СССР связаны своеобразной гидрографической осью р. Москва — канал им. Москвы, прорезающей с севера на юг всю территорию Московской области. Всего здесь насчитывается около 2 тыс. рек, общей протяженностью почти 10 тыс. км. Из них 900 рек питает р. Москву, 700 — Клязьму и Волгу, остальные впадают в Оку.

Волга лишь касается северных границ региона, но многие его реки — Лобь, Лама, Сестра, Яхрома, Дубна и др. — являются ее притоками.

На протяжении 176 км течет на юге Подмосковья Ока, принимая воды р. Москвы, Протвы, Нары, Лопасни, Каширки, Цны, Пры (левые притоки), Синиги, Смедвы, Осетра (правые притоки). Севернее Москвы, изгибаясь к востоку, течет Клязьма, пополняясь водами Учи, Вори и Шерны.

Крупная долина Оки унаследовала древнечетвертичный врез пра-Оки, дно которого на 20—30, а местами и на 50 м ниже современного вреза реки. Долина асимметрична, ее ширина достигает 6 км, а глубина врезания — 60 м.

Другая крупная водная артерия региона, р. Москва, берет свое начало на западе области и, пройдя по ней 502 км, впадает в Оку, вблизи Коломны. Она принимает в себя множество рек

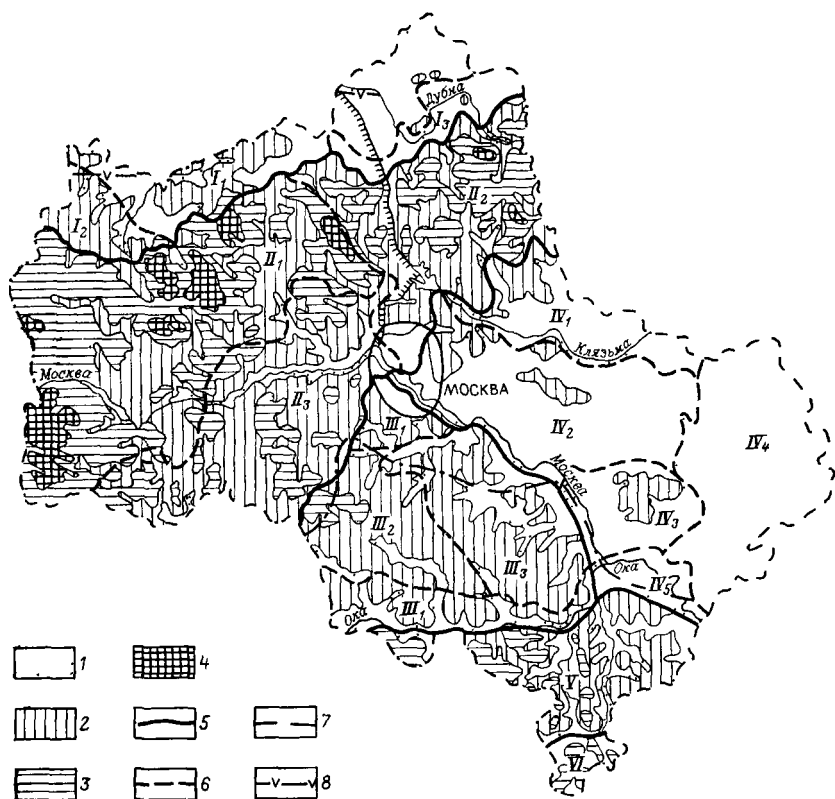


Рис 9 Физико географические районы Московского региона

$I_1$  — Приволжская низменность  $I_2$  — Лотошинская равнина  $I_3$  — Яхромско Дубнинская равнина  $II_1$  — Можайско Волоколамская возвышенность  $II_2$  — Клиньско Дмитровская возвышенность (гряда)  $II_3$  — Вере́йско Звенигородская равнина  $III_1$  — Теплостанская возвышенность  $III_2$  — Чеховская равнина  $III_3$  — Подольско Коломенское ополье  $III_4$  — Приокские террасы  $IV_1$  — Приклязьминская равнина  $IV_2$  — Подмосковная равнина  $IV_3$  — Егорьевская равнина  $IV_4$  — Шатурско Радовницкая равнина  $IV$  — Дедновская пойма,  $V$  — Зарайская возвышенность  $VI$  — Серебряно Прудская возвышенность  $I$  — 4 — поверхности с различными абсолютными отметками (1 — до 150 м 2 — 150—200 м 3 — 200—250 м 4 — свыше 250 м) 5—8 — границы (5 — физико географических провинций 6 — физико географических районов 7 — московского оледенения 8 — раннеплейстоценового (калининского) оледенения)

и ручьев, наиболее крупные из которых — реки Иночь, Искона, Руза, Истра, Сходня, Яуза, Пехорка, Гжелка, Нерская (левые притоки), Колча, Пахра, Северка и Коломенка (правые притоки)

От плавных в своем течении, лишенных крутых изгибов рек Подмосковья, заметно отличается Осетр с характерными крутыми изгибами русла, образующими крупные меандры диаметром до 3 км. Ширина врезанного на глубину 40—50 м южного отрезка долины достигает 2 км. На участке, где река пересекает тектонический прогиб (вблизи с Миндюкино), ее долина расширяется почти до 5 км, а затем, ближе к устью, где она

протекает по Городнинскому поднятию, резко сужается до 0,5 км

В долинах рек Подмосковья выделяется по две аккумулятивные пойменные террасы с высотой над урезом воды 1—2 и 3—6 м. Высокие террасы (например, в долине Оки) могут быть как аккумулятивными, так и цокольными. Первые три террасы аллювиальные, а четвертая образована комплексом аллювиально-флювиогляциальных отложений. Высота террас в порядке их возрастания варьирует в следующих пределах (в м): Москва и Ока 6—14, Москва, Ока и Клязьма 10—20, Клязьма 25—30, Ока, Москва и Осетр 28—42.

Режим рек Подмосковья довольно устойчив, благодаря преимущественному питанию за счет атмосферных осадков весной и летом на них наблюдаются паводковые подъемы уровней. Выходы вод глубоких горизонтов отмечаются в долинах Оки, Северки и Пахры. Сравнительно недавно такие выходы встречались и в долине р. Москвы.

Озера Московской области часто связаны с глубинным карстом или являются реликтом древних крупных озер времен деградации последнего ледника. Карстовые озера глубокие и округлые в плане, с четкой береговой линией и холодной водой, а реликтовые мелкие, с нечеткими изрезанными берегами. Активное зарастание этих озер свидетельствует об их постепенном отмирании.

Всего в Московской области насчитывается 350 крупных озер с площадью водной поверхности 8 тыс. га. Питание их осуществляется за счет подземных артезианских вод, атмосферных осадков и поверхностного стока. Проточные озера выделяются в особую группу, в которую вошли мещерские долинные озера Святое, Великое, Дубовое, Шагара, Ивановское и Мартыновское, расположенные в долине При Амплитуды колебаний уровней озерных вод редко превышают 1 м и только в Мещере возрастают до 1,7 м.

Континентальный климат региона характеризуется широким изменением температурного режима воздуха. Так, если на юге области безморозный период длится 135—140 дней, то на севере он на 20 дней короче. Средние годовые температуры воздуха 3—5 °С. Преобладают южные и западные ветры, скорость которых иногда достигает 10 м/с. Отмечались здесь и ураганные ветры со скоростью до 70 м/с.

Среднее годовое количество осадков колеблется от 506 (Коломна) до 630 мм (Москва). Наибольшее количество осадков приходится на лето, зимой осадков выпадает меньше. Характерны резкие годовые отклонения от норм выпадения осадков. Например, в 1920 г. в Москве выпало 354 мм осадков, а в 1976 г. — 850 мм.

В последнее время появляется все больше публикаций о процессе глобального потепления. Есть сведения и о некотором росте средних многолетних температур в Подмосковье. С 1973 по

Физико-географические районы Московского региона

Физико-географические районы		Рельеф	Распределенность лесов	Почвы
Провинция	Район			
Верховолжская западно-европей- ская низменность	Приволжские низмен- ности	Впадинами, огуль- ные низины, грады	(западно-европейские леса с островами)	Подзолистые, болотные подзолистые
	Долготинская равнина	Выпуклостепной, местами грядчатой	Мшанко-лиственные и осе- новые леса	Дерново-подзолистые
	Ямало-Ненецкая долинина	Выпуклостепной, местами хребтистой	Березовые и ольховые леса, черномышьяны	Болотные, болотно-под- золистые
Средне-Москов- ская и южная воз- вышенность	Можайско-Волокола- мская возвышенность	Куполообразный с окрестными возвышенно- стями	Березово-осиновые сло- истые леса	Дерново-подзолистые
	Калужско-Дмитровская возвышенность (града)	Куполообразный, гряд- чатый, эскарповый	Еловый-березовый-ли- ственный и березовые леса	Дерново-осиново-под- золистые
	Вережско-Звенигород- ская равнина	Выпуклостепной с от- дельными холмами и грядками	Еловый-березовый леса и осинники, дубравы и осиновые боры	То же
Московско-Окская и южно-европейская равнины	Тепловская возвы- шенность	Грядово-холмистый, рас- члененный	Липа, дуб, березовые леса	Дерново-осиново-под- золистые
	Чуковская равнина	Волнистый, местами гряд- чатый	Березово-осиновые леса	Дерново-подзолистые
	Подольско-Космодемьян- ская равнина	Волнистый, редкие гряды и возвышения	Березовые леса	Дерново-подзолистые и серые лесные
Мещерско-западно- европейская равнина	Приокские террасы	Плоский, пересыпанный	Боры осетинника, дуб- равы	Дерново-подзолистые
	Приклязьмская рав- нина	Плоский	Сосновые леса, болота	Дерново-и болотно-под- золистые

Подмосковная равнина	Плоский с отдельными холмами, грядами	Сосновые леса, редкие боры	Дерново-подзолистые песчаные
Егорьевская равнина	Слаборасчлененный, грядовый	Мелколиственные и сосновые леса	То же
Шатурско-Радовицкая равнина	Плоский с котловинами озер	Сосновые леса с березой, болота	Песчаные подзолистые, болотные
Дединовская пойма	Плоский, террасированный	Сосновые боры, луга	Песчаные, дерново-подзолистые
Зарайская возвышенность	Крутохолмистый	Островки березовых лесов, дубрав	Серые лесные
Серебряно-Прудская равнина	Холмистая равнина с крупными балками	Островки лиственных лесов	Оподзоленные и выщелоченные черноземы
Заяцкая эрозионная равнина			
Засееринская эрозионная равнина			

1983 г. зафиксировано ежегодное увеличение годовых температур примерно на 0,018 °С. Потепление ощущается прежде всего зимой и весной. Для лета, наоборот, характерно некоторое похолодание.

Почти вся Московская область относится к Нечерноземной зоне, только небольшая ее часть у южных границ (за Окой) считается частью Черноземной зоны. Здесь развиты суглинистые оподзоленные и выщелоченные черноземы. На остальной же части территории преобладают дерново-подзолистые почвы, которые по северной и восточной окраинам региона сменяются болотно-подзолистыми, их песчаными и супесчаными разновидностями.

Лесами занято около 40 % территории, примерно 30 % всех земель относится к числу сельскохозяйственных. Московская область находится в зоне смешанных лесов с таежной растительностью на севере и лиственными породами на юге.

Некогда богатый и разнообразный животный мир Подмосковья заметно обеднел, его видовой состав и численность почти в кризисном состоянии. Принимаемые меры по увеличению численности дикой фауны пока не дают заметных результатов. Загрязнение водоемов, продолжающиеся процессы эвтрофикации и снижения водности малых рек и озер отрицательно сказываются на водной фауне и флоре.

Московская область разделена на 39 административных районов. Это один из самых густонаселенных регионов нашей страны, причем рост населения продолжается. Только за 1970—1980 гг. численность населения



области возросла на 1,8 млн. чел. (с 12,8 до 14,6 млн.). За тот же период население столицы увеличилось с 7,1 до 8,2 млн. чел. и приближается к 9 млн. чел. В последние годы повысились темпы роста числа жителей Лесопарковой зоны Москвы, плотность населения которой местами приближается к городским нормам.

Центр современной зоны урбанизации региона — Москва. Она замыкает на себе все транспортные магистрали территории, по лучам которых развивается Московская агломерация. В 10-километровой зоне вдоль дорог проживает около 90 % городского и 60 % сельского населения Московской области.

Индустриализация сельского хозяйства, рост числа типично городских жилых корпусов в сельской местности постепенно стирают прежние, весьма четкие, границы между городом и селом. На колхозных и совхозных землях увеличивается число небольших промышленных объектов, которые нередко вызывают не меньшее загрязнение среды, чем крупные промышленные предприятия. В целом природа Подмоскovie испытывает увеличивающийся по масштабам и интенсивности техногенный прессинг. Сегодня большую часть региона составляет растущая Московская агломерация городов с центром в Москве.

## Основные черты геологического строения

В геологическом строении Московского региона, расположенного на южном крыле Московской синеклизы, принимают участие различные отложения, возраст которых изменяется от архея до голоцена. Длительные этапы осадконакопления сменялись не менее продолжительными эпохами континентального развития территории, благодаря чему в стратиграфическом разрезе отсутствуют отложения отдельных периодов (кембрийского, ордовикского, силурийского и др.), отделов (например, раннего девона, ранней юры и др.) и ярусов (рис. 10).

Наиболее древние метаморфизованные и дислоцированные архейские граниты, гнейсы и сиениты кристаллического фундамента вскрыты скважинами на глубинах 1114 (Серпухов) — 1648 м (Москва). В Москве Боевской скважиной в 31-метровом интервале вскрыты архейские плагиогнейсы, образование которых связывается с формированием гранулитовой фации регионального метаморфизма. Залегающие выше осадочные терригенные формации (конгломераты, песчаники и сланцы мощностью 900 м) датируются протерозоем. Скважина достигла, по всей видимости, кровли приподнятых блоков, так как по геофизическим данным глубина залегания фундамента составляет 2500—2800 м.

Огромный по продолжительности перерыв в осадконакоплении стал причиной того, что непосредственно на породах венда залегают отложения девонской системы. Девонское время отмечено накоплением 700—900-метровой толщи довольно пестро-

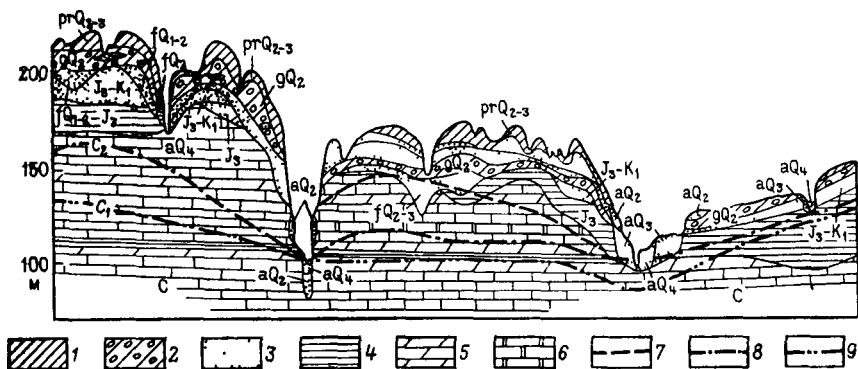


Рис 10 Типовой геологический разрез Московского региона

1 — суглинки, 2 — суглинки валунные, 3 — пески; 4 — глин, 5 — доломиты, 6 — известняки доломитизированные, 7—9 — пьезометрические уровни первого (7), второго (8) и третьего (9) водоносных горизонтов карбона

го состава — от гипсов, ангидрита и каменной соли, встречающихся в низах разреза, до карбонатных пород с прослоями глин карбонатной формации фаменского яруса (см. рис. 10). В среднем девоне преобладают мергели, глинисто-алевритовые породы и песчаники. Встречаются также доломиты и каменная соль.

В позднем девоне (франский ярус) накапливались глины, пески и алевриты, которые выше замещены известняками с прослоями мергеля и глин (нижнефранский подъярус). На смену им вновь приходят глины с прослоями известняков, песчаники, затем верхнефранские глины, и наконец мощная толща переслаивающихся мергелей, глин, доломитов и известняков.

Формирование девонской толщи завершилось в фаменское время, к которому относятся пачки лагунных пестроцветных доломитизированных и загипсованных известняков, глинистых доломитов, мергелей и глин. Верхние слои несут следы битумизации.

До этих этажей литосферы влияние человека доходит слабо. Лишь иногда, при глубоком бурении, в пресные воды эксплуатируемых водоносных горизонтов карбона прорываются рассолы из пород девона.

Выше залегает мощная толща пород каменноугольного возраста, с которой и начинается зона активного взаимодействия человека и геологической среды. Древнейшие из каменноугольных отложений — лихвинские, образующие терригенно-карбонатную формацию, — в период поднятия суши подвергались частичному размыву. Перекрывающие их породы угленосной формации накапливались в условиях жаркого и влажного климата и представлены толщей континентальных песчано-глинистых отложений, мощность которой увеличивается с юго-запада на северо-восток. Неустойчивость тектонического режима привела

к довольно заметной фациальной изменчивости отложений и частой смене разностей по разрезу. В образовании угленосной формации Подмосковья отмечаются два цикла седиментации. Каждый такой цикл начинался с размыва с последующим отложением песчано-алевритовых пород и заканчивался отложением глин с пропластками угля. Угли сапропелевые (водорослевые), нередко гумусовые, волокнистые.

Карбонатная формация начинается с алексинского горизонта нижнего карбона и завершается породами ассельского яруса нижней перми. В низах формации преобладают известняки, разделенные слоями плотных глин мощностью примерно 5 м каждый.

В среднем карбоне кроме глин верейского горизонта общей мощностью до 20 м встречены три пачки глин в каширском горизонте.

Верхний отдел карбона представлен толщей, в которой известняково-доломитовые пачки чередуются с глинами и мергелями. Средняя мощность карбонатных слоев 6—10 м, глинистых 4—5 м. Карбонатные породы представлены широким спектром литологических разностей от органогенных до пелитоморфных и кристаллических. На стадии эпигенеза они подверглись окремнению, огипсованию и доломитизации. Толща пород карбона нарушена сетью трещин, выветриванием и закарстована. Процессы выветривания и карстообразования активизировались уже после завершения осадконакопления в пермско-раннеюрскую эпоху континентального развития. Тогда и были сформированы в известняках мощные коры выветривания, тяготеющие к бортам древних долин и участкам интенсивных тектонических смещений. Кора выветривания выявлена в бортах доюрской ложбины стока, которая начинается в районе Москвы и уходит к востоку области. Выветривание превратило прочные карбонатные породы в обломочный элювий с заполнением из тонкого материала, получившего название доломитовой муки. Мощность элювия достигает 40 м.

Породы терригенной красноцветной формации верхней перми протягиваются узкой полосой на севере региона. Скважинами вскрыты монтмориллонитовые красные глины и мергели. Терригенная сероцветная формация средней юры — верхнего мела, широко развитая в регионе, делится на три комплекса: глинисто-песчаный, глинистый и глинисто-алеврито-песчаный. Первый охватывает толщу батских отложений и простирается до низов келловей. Пески и глины, иногда сланцеватые и битуминозные, заполняют глубокие доюрские долины, особенно к северу от водораздела, который в пермскую и триасовую эпохи протягивался по линии Руза — Москва — Ногинск. Южнее проходила так называемая главная Московская ложбина, дно которой имеет абсолютные отметки около 50 м, тогда как средние отметки кровли карбона 100—140 м. По ней заложены реки Москва, Истра и Ока (вблизи Коломны).

Глины верхней юры (региональный водоупор) широко распространены в регионе. Их нет лишь на его западе, где находится выступ карбона, а также в долинах Оки и части ее притоков. Верхнеюрские глины гидрослюдисто-монтмориллонитовые с примесью органики.

Глинисто-алевритно-песчаный комплекс верхневолжского яруса юры, нижнего мела и сеномана развит на севере области, а также восточнее г. Истры (отложения нижнего мела). Верхневолжские пески основания толщи содержат примеси глауконита.

Кремнисто-мергельная формация верхнего мела представлена преимущественно мергельно-глинистыми породами и встречается в районах Дмитрова и Загорска, а также на территории Москвы (Теплостанская возвышенность). В Москве это зеленовато-серые глины с прослоями кварцевых песчаников и кварцевые мелко- и среднезернистые пески с прослоями рыхлых песчаников и глин. В неогене при воздымании территории шло интенсивное эрозионное расчленение и заполнение новообразованных долин вначале грубым, а затем более тонким материалом.

До сих пор речь шла о тех этажах земной коры, где влияние человека проявляется в основном опосредствованно. Четвертичные отложения региона испытывают прямое влияние техносферы. Их накопление связано с глобальными климатическими циклами.

До ледниковой эпохи был сформирован комплекс озерно-аллювиальных отложений, залегающих под окской мореной. Выработанная в плиocene сеть глубоких эрозионных долин в позднелиценное время заполнялась аллювиальными и озерными осадками, которые представлены желтовато-серыми или белыми песками мощностью до 20 м с галькой кварца и кремния. Вскрыты они в долинах Оки и Москвы южнее Егорьевска и по долинам более мелких рек — Пахры, Рожай, Северки, Лопасни и Нары. Этот комплекс отличает полное отсутствие обломков магматических и метаморфических пород, распространенных во всех других четвертичных отложениях региона.

Древняя окская морена сохранилась в раннелиценных долинах, врезанных в толщи мезозоя и карбона. По этим долинам, вероятно, и продвигались языки наступающего ледника, оставившего после себя грязно-серые и коричневатобурые грубые суглинки с валунами, галькой и гравием известняков и гранитов.

Днепровский ледник захватил всю территорию региона. Его отложения в виде грубых, средних и легких суглинков широко развиты по всей площади и часто перекрыты более молодыми образованиями.

В течение последующего межледникового шло образование своеобразных отложений, в составе которых замещают друг друга флювиогляциальные, озерные и аллювиальные накопления. Климатические изменения запечатлены в разрезе сменой

## Четвертичные отложения

Возраст отложений	Генетический комплекс
Современные	Техногенные, болотные, аллювиальные, озерные и делювиальные отложения
Позднечетвертичные: валдайский горизонт	Флювиогляциальные (времени отступления ледника), аллювиальные (первая надпойменная терраса) отложения
микулинский горизонт	Озерные, болотные и аллювиальные (вторая надпойменная терраса) отложения
Среднечетвертичные (московский горизонт): верхнемосковский подгоризонт	Аллювиальные (третья надпойменная терраса), флювиогляциальные (времени отступления ледника) и ледниковые отложения
среднемосковские (костромской интерстадиал) подгоризонт	Аллювиальные, озерные и болотные отложения
одинцовский (рославльский) горизонт	Ледниковые отложения (нижняя морена)
Раннечетвертичные: днепровский горизонт	Аллювиальные (четвертая надпойменная терраса), озерные, болотные и флювиогляциальные (времени отступления ледника) отложения
лихвинский горизонт	Ледниковые и флювиогляциальные (времени наступания ледника) отложения
окский горизонт	Флювиогляциальные (времени отступления ледника), озерные, аллювиальные и болотные отложения
венедетская свита	Флювиогляциальные (времени отступления и наступания ледника) и ледниковые отложения
	Аллювиальные, озерные и болотные отложения

флювиального комплекса начала ледникового периода суглинками основной морены, которые в свою очередь замещаются флювиальными песчаными разностями, отложившимися во время таяния и отступления льда и общего потепления климата.

В их разрезе можно наблюдать различного рода гляциодислокации: складки, флексуры, морозобойные клинья и трещины.

Между окской и днепровской моренами лежит пестрый по составу комплекс флювиогляциальных, аллювиальных, озерно-болотных и старичных отложений (табл. 9), среди которых преобладают пески, местами замещаемые супесями и суглинками.

Днепровская морена встречается практически повсеместно, за исключением долин рек и других участков, где она была размыва при деградации днепровского ледника или во время мо-

сковского оледенения. Днепровские отложения представлены грубыми, песчанистыми суглинками с включением обломочного материала (до 15 % объема пород).

В период между московским и днепровским оледенениями накапливались флювиогляциальные и аллювиальные пески, озерно-болотные и озерные глины и суглинки тонкослоистые, опесчаненные.

Московская морена, которая отличается большим содержанием обломочного материала (до 25 %), распространена севернее условной линии, проходящей через города Малый Ярославец, Подольск, Домодедово, Бронницы, Воскресенск и Коломна. Сами отложения лежат на московско-днепровском флювиальном чехле, а иногда на дочетвертичных породах. Московская морена разделена песками костромского интерстадиала мощностью до 6 м на две части, соответствующие ранней и поздней стадиям оледенения.

Отложения ранней стадии московского оледенения представлены главным образом основной мореной, а поздней стадии — как основной, так и конечной.

Основная морена представлена валунными суглинками, реже супесями или глинами с прослоями и линзами песков, гравия, гальки и ленточных глин. Среди обломочных включений преобладают известняки и мергели, хотя встречаются галька и валуны метаморфических пород. При выходе на поверхность московская морена приобретает, находясь в зоне окисления, характерные бурые и красновато-бурые оттенки. Конечноморенные образования отличаются более сложным составом: валунно-песчаные разности сменяются валунными глинами и суглинками, а те опять замещаются валунно-песчаными отложениями. Содержание гравия, гальки и валунов (до 2 м в поперечнике) может достигать 70 %.

В конечных моренах Подмосковья встречаются отторженцы коренных пород, достигающие 60 м. Отторженцы юрских пород отмечены вблизи с. Борисоглебское, в районе городов Химки и Кунцево, на р. Сходне, а отторженцы карбона в с. Новопетровское, восточнее Можайска, на р. Протве.

Таяние московского ледника сопровождалось формированием обширных песчаных равнин Подмосковья, получивших название задровых полей, или полесей, и сложенных разнообразными болотными, аллювиальными, озерными и озерно-болотными отложениями. Заполняя флювиогляциальными песками древние речные долины, талые воды отступающего московского ледника формировали долинные задры, сохранившиеся в долинах рек Оки и Москвы. Пески имеют тонкую, местами косую слоистость. Включения крупнообломочного материала отмечаются лишь в непосредственной близости от фронта ледника, питавшего водные потоки.

Вдоль Клинско-Дмитровской гряды, по краю верхнемосковской морены широко развиты камовые образования в виде хол-

мов высотой 2—5 до 10 м. Поверхность холмов образована выветрелыми моренными суглинками мощностью около 1 м. Ниже идут пески с четкой слоистостью, отражающей чередование тонко- и грубозернистых разностей, с небольшими линзами суглинков. Мощность камовых отложений колеблется от 5 до 20 м.

На большей части региона можно встретить покровные образования, представленные суглинками, реже супесями или глинами, относящиеся к перигляциальным отложениям средне-позднечетвертичного времени.

Во время деградации московского ледника образовалась третья надпойменная терраса крупных рек. Нижние речные террасы сложены аллювиальными песками, преимущественно тонко- и мелкозернистыми.

На равнинах севера Подмосковья и Мещеры распространены современные болотные отложения, находящиеся на различных стадиях формирования. Близкое залегание грунтовых вод создает здесь условия для развития процессов торфообразования. Мощность торфа достигает 8 м.

Особенность геологической среды урбанизированных, промышленно развитых регионов — быстрый рост мощности культурных (техногенных) накоплений. По сведениям М. И. Хазанова, только в пределах Московской области ежегодно образуется 10 тыс. м<sup>3</sup> техногенных пород, причем темпы их накопления возрастают.

Тектоническое строение Московского региона определяется его положением в центральной части Русской (Восточно-Европейской) плиты. Здесь можно наблюдать как прямое, так и обратное соотношение рельефа поверхности и морфологии поверхности кристаллического фундамента, т. е. положительной форме рельефа может соответствовать отрицательная форма фундамента и наоборот.

Кристаллический фундамент разбит сложной системой блоковых нарушений. Его кровля осложнена крупными вытянутыми Московским и Пачелмским авлакогенами. Величина сбросовых смещений по их бортам достигает нескольких сотен метров. С перепадами блоковых смещений связаны различия глубин залегания фундамента.

Более поздние подвижки повлекли за собой формирование новых структур, таких как Подольское, Гжельское, Шатурское, Егорьевское, Орехово-Зуевское, Люберецкое, Песковское, Кудинское, Клинско-Коркодинское и Щелковское поднятия. Например, Щелковское поднятие образовалось в юре и представляет собой куполовидную складку с амплитудой поднятия 40 м. Другие поднятия несколько меньше (15—20 м), падение слоев по ним чуть больше 1°.

Складки в слоях карбона имеют вид флексур и структурных «носов». Они выявлены у Серпухова, Каширы, Зарайска, а локальные изгибы — у Коломны, Подольска, Павловского Поса-

да, Ликино, Дулево, Москвы и далее к северу, вплоть до Загорска и Дмитрова.

Неотектонические движения, повлиявшие на свойства массива, захватили всю территорию региона. Они относятся к предплейстоценовому времени, а максимум их активности приходится на плиоцен и начало плейстоцена, когда происходил процесс переуглубления древней речной сети с врезанием русел водотоков на 150—200 м. Позднейшее опускание поверхности и аккумуляция ледниковых отложений видоизменили рельеф и сгладили формы гигантских древних долин. В целом амплитуда подвижек невелика и, по мнению С. Л. Бреслава и Е. А. Гаврюшевой, длительное время изучавших эти районы, считая от среднего плейстоцена составляет всего 2—7 м.

В настоящее время в регионе выделяются три крупные неотектонические структуры, разделяемые на районы, которые различаются знаком современных вертикальных движений. Преобладают восходящие движения, интенсивность которых падает в направлении с запада на восток.

Континентальный период развития региона начался с длительного подъема поверхности в позднемеловое время. Новая активизация процесса воздымания приходится на начало плейстоцена. Ему на смену приходят опускание поверхности в раннем и среднем плейстоцене и новое поднятие в позднем плейстоцене и голоцене. Наряду с общим поднятием отмечается дифференцированное опускание поверхности. Повторное нивелирование показало, что участок среднего течения Оки сейчас испытывает погружение со скоростью 2—4 мм в год.

В последние годы начаты новые работы по неотектоническому картированию региона, первые результаты которых отразили более густую сеть тектонических нарушений, проявившихся в современном ландшафте, чем это представлялось ранее.

### **Строение рельефа и палеогеоморфологический анализ**

Современный рельеф Московского региона сформировался в континентальные эпохи геологического развития и унаследовал черты доюрского и дочетвертичного палеорельефа. В соответствии с этим в континентальном развитии территории Москвы и Подмосковья выделяют три главных периода формирования рельефа: доюрский (пермь — средняя юра), дочетвертичный (конец позднего мела — плиоцен) и четвертичный.

Доюрский этап формирования рельефа захватывает длительный период с конца позднего карбона и до средней юры, когда преобладали процессы интенсивнейшей денудации известняков карбона при непрекращающихся тектонических подвижках. Суммарный денудационный срез за это время континентального развития территории, по данным А. Е. Криволуцкого, составил 250—300 м. Рельеф, выработанный в отложениях карбона, представлял собой, вероятно, пологую равнину, расчлененную сетью



крупных эрозионных ложбин. Общий наклон территории на северо-восток, в соответствии с падением слоев каменноугольных отложений, определил план эрозионной сети этого периода. Направление крупных доюрских ложбин контролировалось тектоническими нарушениями толщ карбона и литологическими особенностями этих отложений. Тектоническая трещиноватость продолжала оказывать воздействие и на дальнейшее рост и развитие эрозионной сети. Доюрский рельеф в Подмосковье почти не сохранился, но оказал влияние на более поздние процессы рельефообразования.

Древняя гидрографическая сеть, впервые выявленная Б. М. Даньшиным в 1936 г., была уточнена позднее Г. А. Голодковской, Э. А. Лихачевой и И. С. Петренко. Ими же показано значение истории формирования рельефа Московского региона для оценки его инженерно-геологических условий. Из-за мощного денудационного срезания установить глубину доюрских долин не представляется возможным. Фрагментарно выявленная глубина тальвега составляет 15—20 м по отношению к бортам долин и 40—50 м по отношению к водоразделам. Уклоны днища в 2—3 раза превышают современные. В это время наряду с эрозионными и денудационными формами рельефа получили широкое развитие карстовые формы.

В позднеюрское и меловое время территория центра Русской равнины погрузилась под уровень моря. Понижения в доюрском рельефе к концу мела были заполнены мощными (до 200 м) толщами отложений. В это время Клинско-Дмитровская гряда в тектоническом отношении соответствовала крупному прогибу Московской синеклизы.

К началу следующего континентального периода, который начался в конце позднего мела — начале палеогена, освободившаяся от мезозойских морей суша представляла собой плоскую равнину.

Формирование дочетвертичного рельефа было связано с размывом песчано-глинистых мезозойских отложений. Активная денудация и эрозионная деятельность доледниковых водотоков привели к уничтожению меловых пород на большей части региона. Величина денудационного среза с начала регрессии моря в меловое время до начала ледникового периода оценивается А. Е. Кривоуцким как минимум в 150—200 м. В течение этого длительного континентального периода на территории Подмосковья формируется эрозионный рельеф с глубокими крутосклонными эрозионными врезами, осложненный на участках выхода на дневную поверхность или близкого к ней залегания каменноугольных известняков крупными карстовыми формами. Эрозионная сеть того времени имела сложный рисунок. Днища доледниковых долин лежат на 15—60 м ниже современных. Столь большая разница в отметках объясняется дифференцированными неотектоническими движениями. Доледниковые долины довольно узкие. Характерной особенностью этих долин явля-

ется то, что в них отсутствуют даже следы аллювиальных отложений. Это свидетельствует об интенсивном поднятии в плиоцене.

Речная сеть в общих чертах соответствовала доюрской, хотя в ряде случаев проявились и различия. Прослеживаются обращенные (по отношению к доюрскому рельефу и тектоническим образованиям) формы рельефа, т. е. понижения в доюрском рельефе соответствовали водораздельные возвышенности (например, Теплостанская возвышенность и Ленинские горы, расположенные над Главной доюрской долиной).

По тальвегам дочетвертичных долин можно проследить отдельные, довольно крупные, глубиной до 20 м понижения, образование которых, возможно, связано с карстом.

Четвертичный период формирования рельефа делится на два этапа: ледниковый (ранне-среднечетвертичный) и послеледниковый (позднечетвертично-современный).

Заложение раннечетвертичной гидрографической сети, по всей вероятности, определялось размещением отрицательных структур осадочного чехла и неотектонических разрывов. Первый ледник продвигался по пониженным участкам рельефа и, по-видимому, имел характер долинного глетчера, поднимавшегося лишь на низкие водораздельные поверхности. Возникновение и широкое развитие в период похолодания многолетнемерзлых пород и небольшая мощность самого ледника затрудняли его эрозионную деятельность и экзарацию. Морена окского оледенения лишь облекала неровности хорошо развитого к тому времени денудационно-эрозионного рельефа маломощным чехлом, в значительной мере разрушенным и переработанным последующими процессами, которые проявились во время деградации окского ледника, когда активизировался плоскостной смыв в многочисленные озера и долины рек.

За окским оледенением последовало лихвинское, или окско-днепровское, межледниковье (табл. 10), в котором различные исследователи выделяют от трех до пяти стадий потепления и похолодания. В этих условиях неустойчивого климата преобладали процессы аккумуляции, чему способствовало также тектоническое опускание территории. Вместе с тем в тот же период успевает сформироваться довольно глубокая эрозионная сеть. Поверхность плоских водоразделов отличалась заболоченностью и заозеренностью.

Днепровское оледенение было максимальным на Русской равнине. С ним связывают образование холмистого ландшафта северо-запада Подмосковья. Мещера в это время была закрыта от наступающего ледника Клинско-Дмитровской и Теплостанской возвышенностями, что заметно сказалось на процессах рельефообразования в этом регионе: здесь преобладал плоскохолмистый рельеф, следы которого сохранились на водоразделах Серебрянки, Нищенки и Хапиловки.

Деградация ледника привела к возникновению системы озер

## Этапы формирования рельефа в плейстоцене

Этап рельефообразования	Тектонические движения	Основной рельефообразующий фактор	Формирующиеся черты рельефа
Окское оледенение	Опускание	Ледник (система долинных ледников)	Заложение гидрографической сети, крупные озера
Окско-днепровское межледниковье	Поднятие, сменившееся опусканием	Поверхностные воды	Усиление эрозии, перестройка гидрографической сети и образование речных террас
Днепровское оледенение	Слабое опускание	Мощный ледник	Озы и камы со следами напорных морен
Днепровско-московское межледниковье	Поднятие	Поверхностные воды	Расширение долин, усиление эрозии, образование III надпойменной террасы
Московское оледенение	Колебания земной коры с тенденцией к поднятию	Фронтальная часть крупного ледника	Ледниковые формы в северо-западной части территории
Микулинское межледниковье	Поднятие	Поверхностные воды, торфообразование	Эрозионные формы рельефа, торфяники
Ранневалдайское (калининское) оледенение	Колебания земной коры	Прифронтальная часть ледника, поверхностные воды	Преимущественно аккумулятивные и эрозионные формы рельефа
Молого-шекснинское межледниковье	То же	Поверхностные воды	Преимущественно аккумулятивные формы рельефа
Поздневалдайское (осташковское) оледенение	„	Криогенные процессы, поверхностные воды	Эрозионные, слабо выраженные в рельефе формы

и блуждающих потоков. Тогда же активизировалась солифлюкция по склонам водоразделов. Повсеместно шло вымывание тонкодисперсных составляющих из новообразованных моренных накоплений.

Для днепровско-московского межледникового характерны лимногляциальные и плохо отсортированные флювиогляциальные отложения. Днепровский ледник сгладил, но не уничтожил полностью существовавший до него рельеф. Вследствие этого сток талых вод шел по сформировавшимся ранее эрозионным понижениям, углубляя и расширяя их. Одинцовские (днепровско-московские) долины на территории Москвы, как правило, вложены в лихвинские, а подошва одинцовских отложений обычно не опускается ниже уровня современной поймы (абсолютные отметки 125—130 м).

Московское оледенение завершило крупный ледниковый цикл осадконакопления. Смоленско-Московская возвышенность преградила путь леднику, и он двигался на юг по пути днепровского ледника западнее Волоколамска по низине с отметками 140—160 м. Московская морена не опускается ниже отметок 145 м. В понижениях она размыта флювиогляциальными потоками времени таяния ледника. Потоки талых вод формируют задровые равнины Подмосковья, получившие наибольшее распространение в Мещере, и приводят к образованию в долине р. Москвы IV террасы (флювиогляциальной) с абсолютными отметками 160—170 м. Кроме того, они врезаются в более ранние отложения, образуя новую эрозионную сеть, в которой позже отлагается сносимый слабеющими потоками талых вод материал.

Когда ледник покинул пределы региона, сток талых вод окончательно сосредоточился в понижениях рельефа и образовались реки Москва, Яуза, Сетунь и др.

Палеогеографические события позднего плейстоцена протекали на фоне восходящих тектонических движений платформы. В формировании III надпойменной террасы (ходьинской) выделяется несколько этапов. По мнению А. И. Москвитина, оно продолжалось с одинцовского времени вплоть до икшинской стадии московского оледенения (позднемосковский период). Высота этой террасы изменяется от 35 до 22 м, что В. А. Апродов связывает с неотектоническими подвижками того времени. Завершилось формирование ходынской террасы в микулинское время.

В микулинское межледниковье образуется довольно густая сеть озер и идет активное заболачивание многочисленных понижений. Формирование I и II надпойменных террас многие исследователи связывают с валдайским оледенением, заметно повлиявшим на общую водность территории. Врезание р. Москвы, начало которого приходится на позднемосковское время, продолжалось и в микулинское межледниковье. Тогда и определились границы II надпойменной (мневниковской) террасы, накопление аллювия которой происходило в калининскую стадию валдайского оледенения.

К уровню II надпойменной террасы привязана хорошо развитая сеть древних логов и балок. Во многих из них процесс эрозии прекратился, но немало и таких, по днищам которых развивается вторичная молодая эрозия с выходом на I надпойменную террасу или пойму. На междуречьях, не затронутых эрозионным расчленением, происходило выравнивание моренного рельефа в результате активного плоскостного смыва, солифлюкции и оползания пород.

Период формирования I надпойменной (серебряноборской) террасы относится к осташковскому времени. Тогда же II терраса испытала в ходе перестройки речной сети сильный размыв. Основание I надпойменной террасы обычно ниже современного уреза реки. Одновременно с процессами линейной эрозии и аккумуляции, как и в предыдущие этапы, происходил активный плоскостной смыв. Местность приобретала характерный пологоувалистый рельеф.

Врезание рек и образование поймы относятся к сравнительно недавнему послевалдайскому времени. Развитие их притоков повлекло за собой активизацию формирования овражно-балочной сети. В наше время эрозионная деятельность рек Подмосковья ослабла, а овражная эрозия еще активна, в основном в периоды половодья.

Неустойчивый климат позднего плейстоцена способствовал образованию покровных суглинков, приуроченных к перигляциальным зонам, которые существовали в холодные периоды развития региона. Эти суглинки почти сплошным чехлом покрывают водоразделы, но нередко отсутствуют на поверхности флювиогляциальной равнины и III надпойменной террасы.

Современный рельеф региона в общих чертах отражает структурные особенности территории. Крупные возвышенности приурочены к древним поднятиям, а низменности — к прогибам, но встречаются и обратные соотношения.

По особенностям рельефа, тектонической приуроченности, степени эрозионной расчлененности и характеру рельефообразующих факторов в Московской области выделяется шесть геоморфологических районов.

На севере области протягивается Верхневолжская равнина, довольно ровная слабоволнистая поверхность которой прорезана неглубокими оврагами. Монотонность равнинного рельефа нарушают отдельные крупные холмы, сложенные морской с меловыми песками и юрскими глинами в основании. Средняя высота таких холмов 5—10 м, но отдельные достигают 30 м (например, крупный Лесозаводский бугор). Абсолютные отметки равнины плавно снижаются к северо-востоку со 160 до 120 м. Для этой равнины характерны многочисленные бугры-отторженцы от северного края Клинско-Дмитровской гряды.

Южнее Верхневолжской равнины Московский регион пересекают Смоленско-Московская возвышенность, играющая роль главного водораздела Волги и Оки, и ее часть —

Клинско-Дмитровская гряда Абсолютные отметки здесь поднимаются до 310 м. Эта холмисто-грядовая среднерасчлененная моренная равнина выходит крутым и высоким (до 60 м) уступом (склоном), изрезанным долинами рек и оврагами, к заболоченной равнине на севере территории. Северный уступ С. Н. Никитин, впервые подробно описавший Клинско-Дмитровскую гряду, считает одним из самых высоких в средней полосе России. К югу гряда полого опускается, плавно переходя в Московско-Окскую равнину.

Своеобразная плоская и заболоченная Мещерская низина расположена за пределами границ валдайского и московского оледенений. Днепровская морена оставила здесь следы в виде останцов — невысоких (5—10 м) изолированных возвышенностей. Только в районе Егорьевска и Воскресенска сохранилась неширокая гряда, как бы разделяющая район на две части: Северную, или Приозерную, и Южную Мещеру.

Мещера, занимающая левобережье р. Москвы, представляет собой типичную задровую равнину, пологоволнистую с широкими речными долинами и слабодренлируемыми междуречьями. Абсолютные отметки колеблются здесь в пределах 100—140 м. Относительные превышения составляют 5—15 м.

С Мещерской низиной на западе соседствует обширная Московско-Окская моренно-эрозионная равнина, которую отличает пологоволнистый, слабо расчлененный рельеф, осложненный системой довольно глубоких оврагов по долинам притоков р. Москвы и Оки. Абсолютные отметки поверхности редко превышают 200 м, и только Теплоганская возвышенность имеет отметку 255 м. Она и в какой-то мере Чеховская (Наро-Московская) возвышенность выделяются в равнинном рельефе района. Он также характеризуется глубокими и хорошо разработанными речными долинами с асимметричными террасированными склонами. Среди них В. С. Говорухин выделяет участки со спрямленными руслами и обрывистыми берегами, с извилистыми, меандрирующими руслами и хорошо выраженной поймой, а также широкие долины с пологими склонами.

Заокская и Заосетринская эрозионные равнины находятся на юге региона и занимают незначительную часть его площади. Здесь развиты неширокие, но довольно глубокие речные долины с густой сетью оврагов и балок. Эрозия захватила и водоразделы, которые приобрели вид узких увалообразных возвышенностей шириной 3—4 км и высотой над уровнем основных рек 60—80 м.

Узкие, местами каньонообразные речные долины соседствуют здесь с широкими долинами, которые имеют хорошо развитую пойму и некрутые берега, что связано, вероятно, с частыми и локальными неотектоническими колебаниями поверхности. Такая динамичная обстановка привела к неоднократным прорывам и перехватам рек, а то и к перемене направления их течения.

Таким образом, Московский регион отличается разнообразием форм рельефа и довольно четкими пространственными закономерностями смены его типов. Формы рельефа хорошо коррелируются с геологическим строением, что нашло отражение при типизации геологической среды региона и увязке выделяемых типов геолого-литологического строения с особенностями присущего им рельефа.

## Гидрогеологические условия

В Московском регионе в пределах зоны активного взаимодействия человека и среды подземные воды развиты в четвертичных, мезозойских, пермских и каменноугольных отложениях. Только в четвертичных отложениях выделяют девять горизонтов и комплексов: верховодку, современный и средне-верхнечетвертичный аллювиально-озерные водоносные комплексы, московский водно-ледниковый водоносный горизонт, московскую спорадически обводненную моренную толщу, днепровско-московский водно-ледниковый водоносный горизонт, днепровскую спорадически обводненную моренную толщу, окско-днепровский водно-ледниковый водоносный горизонт мезокайнозойского водоносного комплекса и подоковский водно-ледниковый водоносный горизонт того же комплекса.

Верховодка широко распространена в покровных образованиях и в других породах с маломощной зоной аэрации. Она находится на глубинах от долей до 10 м и более. Мощность обводненной части суглинков, по Т. Г. Портновой, может достигать 3 м.

Современный аллювиально-озерный водоносный комплекс распространен во всех речных долинах Подмосковья, где склоны и террасы сложены песками. В долине Оки мощность водосодержащей толщи наибольшая и достигает 20 м, а в долинах мелких рек и ручьев сокращается до нескольких метров. Воды этого комплекса, являющиеся грунтовыми из-за отсутствия водоупорной кровли, можно встретить на глубинах от долей до 3 м (редко более). Водоупорное ложе не выдержано. Питание осуществляется за счет атмосферных осадков, паводковых, речных и озерных вод, а также перетекания из соседних водоносных горизонтов и комплексов. Воды используются населением для питьевых и хозяйственных нужд, но потребление их ограничено из-за слабой защищенности от загрязнения с поверхности.

Средне-верхнечетвертичный аллювиально-озерный водоносный комплекс представлен преимущественно грунтовыми водами обширных песчаных террас Оки, Москвы, Клязьмы, Сестры, Дубны и других рек. Местами, там где в песках есть глинистые прослои, воды могут иметь местный напор. Мощность водонасыщенных пород изменяется от 1

до 20 м, а глубина — от долей до 5 м и более. Питание вод осуществляется за счет атмосферных осадков, речных и озерных вод, а также перетока из соседних водоносных горизонтов. Используются эти воды населением и садоводами Подмоскovie для хозяйственных и питьевых нужд. Они также слабо защищены от загрязнения и нередко гидравлически связаны с евтрофицируемыми озерами или болотами, что отражается на их вкусовых качествах.

Московский водно-ледниковый водоносный горизонт приурочен к обширным флювиогляциальным равнинам, возникшим во время деградации московского ледника. Эти воды также относятся к грунтовым с довольно выдержанным водоупором, образованным суглинками московской морены, реже озерными глинами. Мощность водонасыщенной толщи достигает 15 м, а глубина залегания изменяется от долей до 10 м. Питание горизонта осуществляется за счет атмосферных осадков, реже путем перетекания из соседних водоносных горизонтов и комплексов. Водоносный горизонт используется сельским населением для хозяйственных и питьевых нужд, но защищенность его от поверхностного загрязнения и подтока болотных вод весьма слабая, что отражается на качестве воды.

Московская спорадически обводненная моренная толща включает в себе, нередко напорные, воды, приуроченные к песчаным линзам и прослоям в толще суглинков московской морены. Напор достигает 10 м. Мощность водонасыщенных линз и прослоев небольшая и редко превышает 15 м. Вода вскрывается на разных глубинах — от 1 м и глубже по всей мощности моренных отложений. Питание вод преимущественно атмосферное. Ресурсы незначительны. Они используются населением для местного водоснабжения.

Днепровско-московский водно-ледниковый водоносный горизонт приурочен к днепровско-московским межморенным и днепровским надморенным флювиогляциальным и лимногляциальным песчаным и песчано-суглинистым отложениям. Суглинки московской морены в местах их распространения служат водоупорной кровлей горизонта, а его водоупорное ложе сложено суглинками днепровской морены. Величина напора 5—15 м. За границами развития московской морены воды горизонта безнапорные. Мощность обводненной толщи колеблется от 1 до 12 м. Вскрываются напорные воды на различной глубине вплоть до 30 м. Грунтовые воды залегают довольно близко от поверхности, но могут и опускаться до 10 м. Водообильность горизонта на разных участках различна. Питание в основном атмосферное, но напорные воды могут получать питание за счет подтока из соседних водоносных горизонтов и комплексов. По условиям развития горизонт на значительной части территории защищен московской мореной от внешнего загрязнения. Используется как источник водоснабжения жителями Подмоскovie.



Днепровская спорадически обводненная моренная толща развита в пределах региона почти повсеместно. Условия обводнения ее напоминают условия обводнения московской морены, где воды содержатся в песчаных линзах и прослоях ледниковых отложений. Мощность обводненных образований небольшая — от долей до 2 м (редко до 6 м). Воды эти почти не используются.

Окско-днепровский водно-ледниковый водоносный горизонт, приуроченный к флювиогляциальным и аллювиальным пескам, заполняющим в основном депрессии доледникового рельефа, отличается значительным изменением мощности — от нескольких до 40 м (в погребенных долинах и впадинах). Горизонт преимущественно напорный (напор 15—20 м) с днепровскими моренными суглинками в качестве водупорной кровли. Нижней границей горизонта служат дочетвертичные отложения. Глубина залегания этих вод может колебаться от долей метра по долинам рек до 40 м на водоразделах. Водообильность горизонта, питаемого водами, перетекающими из соседних водоносных толщ, или атмосферными осадками, довольно высокая. Воды пресные, гидрокарбонатные кальциевые или магниевые-кальциевые. В большинстве случаев они защищены с поверхности слоем моренных суглинков и широко используются населением для питьевых и хозяйственных нужд.

Подокский водно-ледниковый водоносный горизонт приурочен к флювиогляциальным и аллювиальным пескам погребенных под окской мореной доледниковых долин. Изучен он слабо и практического значения пока не имеет.

Ввиду небольшого распространения окской морены окско-днепровский и нижележащие водоносные горизонты кайнозойских и мезозойских отложений объединены Т. Г. Портновой в общий мезокайнозойский водоносный комплекс, который включает в основном воды неогеновых и мезозойских отложений. Водоносные горизонты мощностью до 6 м вскрыты в озерно-аллювиальных песках неогена, в песках, песчаниках и опоках верхнего мела мощностью до 20 м и более, в песках сеноманского яруса верхнего мела и альбского яруса нижнего мела мощностью 10—25 м, а также в глинисто-песчаных разностях аптского, готеривского и валанжинского ярусов нижнего мела и волжского яруса верхней юры мощностью до 40 м и более.

Этот комплекс отличается островным распространением. Здесь встречаются и грунтовые воды неогеновых отложений и воды с напором до 60 м, верхним водоупором которых служат суглинки днепровской морены, а нижним — кимеридж-келловейские глины. Водообильность комплекса разнообразна.

Некоторые исследователи выделяют бат-келловейский водоносный горизонт из указанного выше комплекса. Этот горизонт вскрыт в песках верхней и средней юры, заполняющих доюрские долины и имеющих мощность от 5 до 40 м. Водупорной кровлей служат кимеридж-келловейские глины. Напор воды мо-

жет достигать 50 м. Нижний водоупор в большинстве случаев отсутствует, и тогда этот горизонт непосредственно сообщается с соответствующим горизонтом карбона. Водоносный комплекс используется жителями Подмоскovie. Сейчас планируется его централизованное промышленное использование.

Глубокие воды каменноугольных отложений, входящие в систему Московского артезианского бассейна, разделены слоями-водоупорами. Выделяют сменяющие друг друга по вертикали водоносные горизонты и комплексы (табл. 11): клязьменско-ассельский, касимовский, подольско-мячковский, каширский, протвинский, тарусско-окский, яснополянский, упинский и заволжский.

Клязьминско-ассельский водоносный горизонт охватывает толщу трещиноватых известняков и доломитов клязьминского надгоризонта гжельского яруса и ассельского яруса нижней перми. Мощность этого горизонта постепенно возрастает к северо-востоку от 10 до 60 м. Водоупорной кровлей служат кимеридж-келловейские глины или суглинки днепровской морены. Воды напорные. Величина напора возрастает с погружением горизонта в северо-восточном направлении от 30 до 130 м. В том же направлении снижаются абсолютные пьезометрические отметки. На правом берегу Клязьмы между Павловским Посадом и Купавной, где водовмещающие породы выходят на поверхность, напор падает до нуля. Питание горизонта осуществляется как по всей площади его развития, так и вне ее в районе Окско-Цнинского вала. Разгрузка происходит в долинах Клязьмы, Дубны, Сестры и примыкающих к ним долинах крупных притоков. Водообильность связана с трещиноватостью и закарстованностью пород. Защищенность горизонта от загрязнения с поверхности довольно хорошая, за исключением зон, где отсутствует юрский водоупор или кровля моренных суглинков маломощна. Эти воды широко используются для водоснабжения жителей северной и северо-восточной частей Московской области.

Касимовский водоносный горизонт, приуроченный к трещиноватым и кавернозным известнякам и доломитам касимовского яруса и русавкинской толщи гжельского яруса, ограничен сверху толщей шелковских пестроцветных глин мощностью 15—20 м. Мощность самого горизонта в северо-западном направлении возрастает от 20 до 50 м, в том же направлении напор увеличивается от 0 (вблизи Москвы) до 150 м (районы Клинско-Дмитровской гряды). Этот водообильный горизонт, область питания которого совпадает с областью распространения, разгружается в долинах Ламы, Сестры, Клязьмы. Воды этого горизонта интенсивно эксплуатируются.

Подольско-мячковский напорный горизонт, приуроченный к трещиноватым, закарстованным известнякам и доломитам мячковского и подольского горизонтов и смедвинским слоям каширского горизонта, широко развит в пределах

Таблица II

## Водосные горизонты и комплексы каменноугольных отложений

Горизонты и комплексы	Границы разветвления	Водонасыщающие породы	Породы водоупора	Напор, м	Водонасыщенность (интенсивность) эксплуатации
Оскол-дротвинский	—	Промышленно-оскольные и серфутунские известняки, доломиты	Кровля — мергелистые глины, подошва — тулусские и бобринские глины		Водоснабжение (интенсивное)
Каширский	Слоистое распространение с вращением вращающейся длины	Известняки и доломиты с прослоями мергелей и тулусских глин (мощность до 65 м)	Кровля — мергелисто-глинистые глины и суглинки, ростовские глины, подошва — верейские глины	До 30, реже до 50	Водоснабжение (ограниченное)
Подольско-мичуринский	Разветвляющийся по всей области	Известняки с маломощными прослоями доломитов и мергелей (мощность от 1 м по периферии до 70 м в центре)	Кровля — мергелисто-глинистые глины, подошва — красноватые глины, суглинки	0—130 (на северо-востоке и восточной области)	Водоснабжение (до 45 % от общего водооборота, интенсивное)
Касимовский	Западные линии	Известняки, доломиты с прослоями доломитов, мергелей и тулусских глин (мощность 30—50 м)	Кровля — мергелисто-глинистые глины, подошва — красноватые глины и мергели	20—150 (Загорск)	Водоснабжение (интенсивное)
Калужинско-госельский	Северные Шатуры и линии Рожественское — Коноково — Яхрома — Москва — Балашиха — Липкино — Дубово	Известняки и доломиты с прослоями известняков (мощность до 45 м)	Кровля — мергелисто-глинистые глины, подошва — шелковские красноватые глины	20—100	Основной источник водоснабжения на севере и северо-востоке области (интенсивное)

области. Его мощность изменяется от 50 до 80 м. Величина напора возрастает, как в других горизонтах карбона, от 20 до 120 м. Область питания совпадает с областью распространения горизонта. Дренируются подольско-мячковские воды Волгой, Москвой, Пахрой, Рузой, Северкой и другими реками.

Касимовский и подольско-мячковский водоносные горизонты разделяет пачка кревкинских красноцветных глин мощностью 5—9 м. От нижележащего каширского водоносного горизонта описываемая толща отделена ростиславльскими глинами, при отсутствии которых оба горизонта образуют единую водоносную систему.

Каширский водоносный горизонт развит по всей области и приурочен к трещиноватым известнякам и доломитам мощностью от 10 до 65 м. Питание его осуществляется по всей области распространения. Дренируются воды каширского горизонта долинами Москвы, Оки, Протвы, Нары, Лопасни и других рек. Напоры меняются в широких пределах — от 0 (на юго-западе области) до 120 м (на северо-востоке).

Толща верейских глин, мощность которых достигает 100 м, отделяет более глубокий окско-протвинский водоносный комплекс, представленный протвинским и окско-тарусским водоносными горизонтами. Между ними с разрывами залегают стешевские глины. Общая мощность этого комплекса, охватывающего толщу закарстованных и трещиноватых известняков и доломитов, изменяется от 50 до 90 м.

Безнапорные воды встречаются по юго-западной границе распространения этого комплекса, где они почти не защищены от загрязнения с поверхности. К северу и северо-востоку, уходя под покров верейских глин, воды комплекса становятся напорными и величина напора возрастает до 350 м. Питание здесь такое же, как и верхних горизонтов, а дренаж осуществляется Волгой, Окой, Протвой и Тарусой. Водообильность комплекса изменчива, что связано с неравномерной трещиноватостью пород. В области развития пресных вод окско-протвинский водоносный комплекс используется для водоснабжения.

Яснополянский комплекс, объединивший водоносные пески тульского и бобриковского горизонтов, а также упинский и заволжский водоносные горизонты, залегает на значительной глубине и населением области не используется. Они находятся ниже границ зоны активного взаимодействия человека и среды.

Сама эта зона в гидрогеологическом отношении четко делится на два этажа. Нижний включает систему взаимосвязанных водоносных горизонтов карбона, широко используемых при водоснабжении региона. Здесь протекают процессы глубинного карста, которые нередко проявляются на поверхности в виде воронок или котловин. Верхний этаж водоносных горизонтов, приуроченных к мощному покрову рыхлых отложений, испыты-

вает наиболее сильное техногенное воздействие и в свою очередь влияет на экологические условия региона, регулируя водность рек, озер и болот, определяя интенсивность ряда геологических процессов.

## Геодинамическая обстановка

Инженерно-геологические карты Московского региона дают весьма приблизительное представление об общей геодинамической обстановке региона, так как, во-первых, не учитывают весь спектр развитых здесь экзогенных геологических процессов, а во-вторых, почти не отражают их кинетики. Исследования последних лет позволили увязать все эти процессы в парагенетические генерации, выделив главные, доминирующие процесс или явление.

Приведенная на рис. 11 (вкладка) карта отражает пространственное развитие парагенетических генераций основных экзогенных геологических процессов Московского региона. На ней хорошо прослеживается связь этих процессов с физико-географическими (инженерно-геологическими) районами территории. Так, основные площади болот и торфяников сосредоточены по восточной и северной окраинам области, а Клинско-Дмитровская гряда характеризуется развитием густой и хорошо разработанной сети оврагов и балок. Карст явно тяготеет к долинам рек, к участкам, где древние водотоки уничтожили защитные слои юрских глин. По бортам крупных речных долин, врезаемых в глинистые породы юры и карбона, можно наблюдать обширные участки с оползневыми подвижками.

Генерации одного и того же типа по характеру и формам проявления образующих их процессов заметно различаются в разных физико-географических провинциях (районах) региона. Например, заозеренные или подтопленные, быстро заплывающие и нивелирующиеся в рельефе карстовые провалы в Мещере никак нельзя спутать с сухими, асимметричными, скульптурно выраженными в рельефе, угловатыми обрывистыми карстовыми провалами в пределах заокских равнин или с плавно-округлыми в плане, неглубокими, без четкого перехода от эродированных бортов к днищу воронками Москворецко-Окской равнины.

Естественные геологические процессы Московского региона по степени их влияния на инженерно-геологические условия («степени беспокойства», определенной путем анкетирования архитектурных служб) можно расположить в виде следующего иерархического ряда: заболачивание, овражная эрозия, карст, оползни. Реже можно встретить проявление суффозии, эоловых процессов, осыпеобразования, морозного пучения и болотной солифлюкции.

Образование болот Подмосковья относится к субарктическому и бореальному периодам голоцена. За последнее время за-

метно возросла активность евтрофикации водоемов, суходольного заболачивания и торфообразования. Минерализация болотных вод региона чрезвычайно разнообразна, и болотная растительность насчитывает больше 90 видов сообществ.

Болота можно встретить практически по всей территории региона. На Приволжской низменности, в Яхромско-Дубнинской ложбине и в Центральной Мещере это крупные лесоторфяно-болотные массивы, образующие почти региональные системы болот, соединенных протоками. На остальной территории болота более мелкие, пространственно разобщенные, нередко в виде изолированных бессточных котловин — реликтов древних озер. Такие озерные котловины с местами сохранившимся зеркалом открытой воды характерны для западного Подмосковья и Смоленско-Московской возвышенности. Т. Ю. Жаке и Б. А. Бовенко в бассейне Учи описали почти круглые в плане болотные понижения, образование которых они связывают с процессом реликтового термокарста. Диаметр этих котловин достигает 2 км при средних глубинах 10 м. В южной половине Московского региона довольно много болот посткарстового типа, развитых на плоских водоразделах и в долине Оки. Внешне они напоминают посттермокарстовые болота, но меньше по диаметру и глубинам (редко превышает 2 м).

Болота перечисленных типов имеют ряд особенностей. Границы их довольно устойчивы, а изменение водности можно проследить по хорошо заметной окольцовке лагами. Болота термокарстового типа, как правило, надежно защищены от подпитки артезианскими водами, а посткарстовые болота, наоборот, часто подпитываются водами горизонтов карбона, поэтому при эксплуатации последних посткарстовые болота быстро осушаются.

Большинство болот занимают древние понижения в рельефе и отличаются нечеткими, расплывчатыми границами, как бы теряющимися в окрестных лугах и лесах. Это в основном евтрофные низинные болота с березой, ивой и осоковыми. Реже встречаются олиготрофные болота с сосной и багульником. Крупные низинные болота Мещеры, такие как Бакшеево, Пустошинское, Шестимировское и Рязановское, подпитываются жесткими минерализованными водами, что не могло не отразиться на их растительности и привело к образованию высокозольных торфов. В отличие от них верховые болота (Чадлевское и Макарьевское Егорьевского плато) отличаются слабоминерализованным торфом с малой зольностью, что объясняется питанием их мягкими водами.

Болота занимают около 35 % территории Мещеры (рис. 12). На севере региона болота покрывают от 3 до 14 % площади. Немало болот и на Смоленско-Московской возвышенности, где по подсчетам они занимают от 0,9 до 5,6 % площади. К югу от Москвы число болот и площади, занимаемые ими, уменьшаются, хотя на заокских землях на их долю приходится примерно 2 % территории. Для такого издавна обрабатываемого сельско-

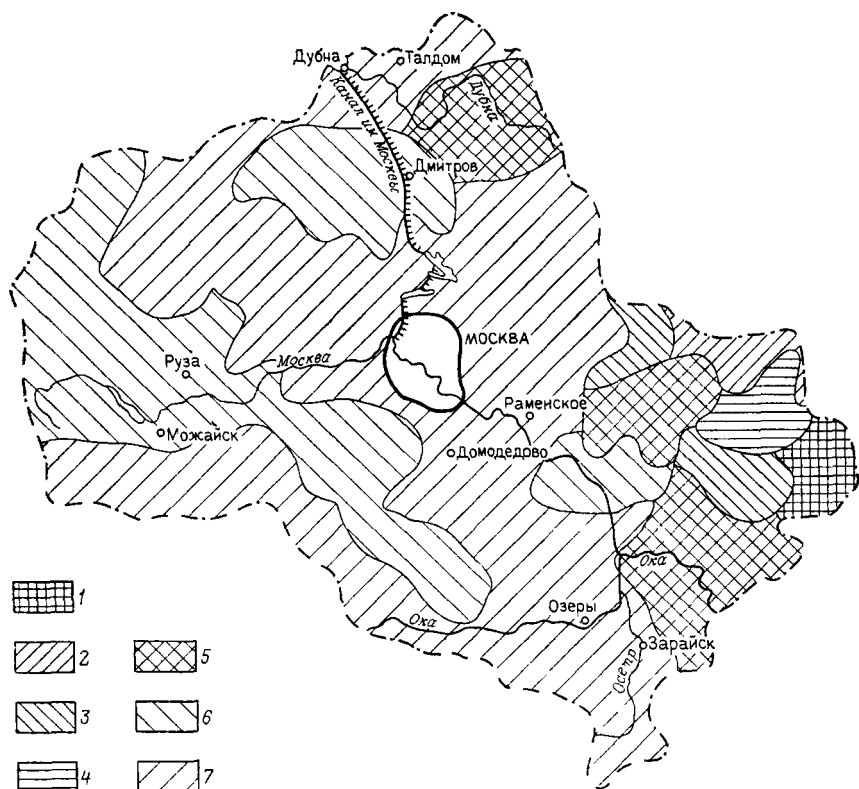


Рис 12 Карта заболоченности Московской области (по М. С. Орлову, 1985)  
 Забо́ренность речных бассейнов (в %) 1 — 50—60, 2 — 40—50, 3 — 30—40; 4 — 20—30, 5 — 10—20, 6 — 5—10, 7 — менее 5

хозяйственного района с высокой культурой земледелия эти площади довольно велики.

Овражная эрозия — типичный для Московского региона процесс (рис. 13). На Смоленско-Московской возвышенности, где базис эрозии крупных оврагов иногда достигает 100 м и более, густота овражно-балочной сети составляет примерно 0,7—0,9 км на 1 км<sup>2</sup> (сведения по Клинско-Дмитровской гряде). Коэффициент отторженности земель овражной эрозией достигает здесь 0,14 (среднее значение 0,05). Близки к этим цифрам и параметры пораженности овражной эрозией земель Заокской равнины, где значения коэффициента отторженности земель этим процессом изменяются от 0,04 до 0,06. На Московско-Окской равнине отторженность земель овражной эрозией снижается (0,04—0,05), а на заболоченных зандровых равнинах редко превышает 0,01, за исключением западной окраины Верхневолжской равнины, где она достигает 0,03. Для такого освоенного и густонаселенного региона это немалые цифры.

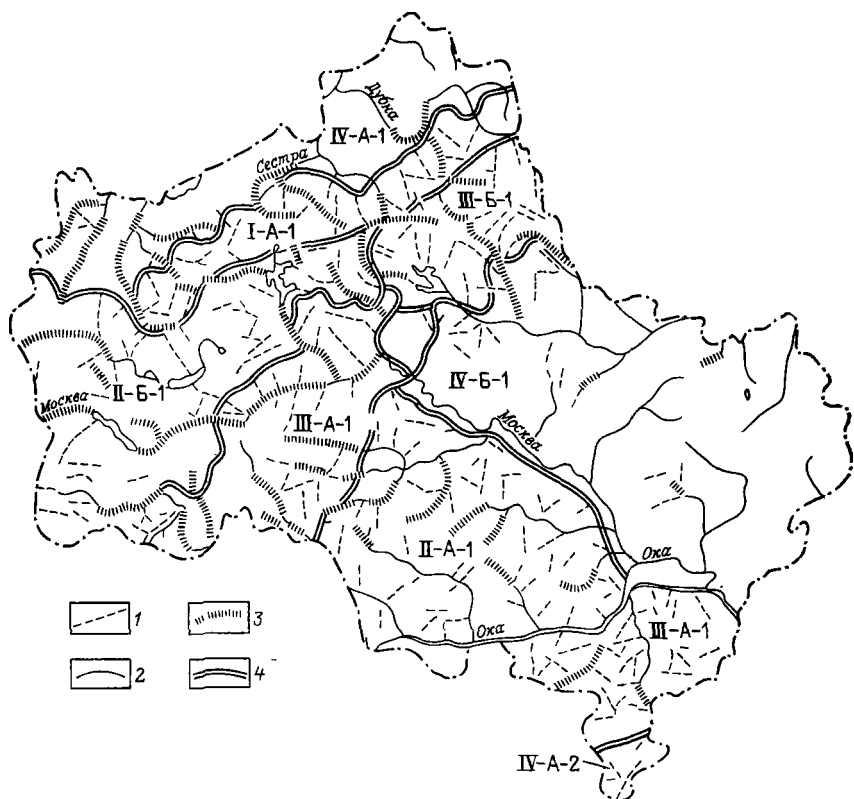


Рис. 13. Карта развития овражной эрозии Московской области:

I-A-1 — IV-B-1 — индекс района. Коэффициент отторженности земель эрозией: I — 0,12—0,16, II — 0,10—0,12, III — 0,05—0,10, IV — 0,01—0,05 и менее, А — площадная эрозия, Б — локализация эрозии вдоль рек; 1 — преобладают овраги, 2 — преобладают балки и крупные овраги, 3 — долины рек с густой сетью береговых оврагов, 4 — границы эрозионных районов

Крупные овраги и балки протяженностью до 2 км с глубиной вреза до 30 м и крутыми склонами характерны для возвышенностей региона. К югу от Москвы сеть оврагов редееет, локализуясь вдоль бортов речных долин. На заокских землях многие овраги осложнены карстом.

Описывая овраги Клинско-Дмитровской гряды, А. Л. Знаменская насчитывает от 6 до 12 ступеней по их тальвегам. Вблизи крупного линеймента (район Можайска) в опоясывающих его оврагах мы насчитали по четыре ступени. На активизацию врезания оврагов в зоне неотектонических поднятий по долинам Лопасни и ее притоков указывал Е. М. Шик, что подтвердили более поздние исследования.

Овраги заболоченных равнин Мещеры и Верхневолжских зандров отличаются слабым донным врезанием. Извилистые в плане, с плоскими увлажненными днищами они заплывают с



верховьев. Воды болот, поддерживая эрозию, в то же время способствуют нивелировке мелких оврагов и развитию процессов болотной солифлюкции.

Сведения о динамике оврагообразования в Подмоскowie крайне разноречивы. По классификации С. С. Соболева, значительная часть Смоленско-Московской возвышенности относится к району «среднерастущих оврагов» со скоростью врезания верховий до 2 м в год. Еще больше скорости роста оврагов Подмоскowie — до 5 м в год (С. У. Каримханов и А. Л. Знаменская). Об активном росте оврагов правобережья р. Москвы писали Т. Ю. Жакэ, В. А. Бовенко и др. Они описывали свежие формы оврагов протяженностью до 300 м с глубиной вреза 1—2,5 м.

Обращает на себя внимание тот факт, что сведения об активности овражной эрозии на значительных площадях региона содержатся в работах 1960-х гг. и более ранних. Из 148 обследованных в последние годы оврагов Подмоскowie с признаками активности процессов эрозионного роста лишь в 39 случаях повторные замеры подтвердили этот рост. Так, наблюдения, проводимые в течение пяти лет за оврагами в долине р. Баньки (г. Красногорск), дали следующие результаты: верховья 24 оврагов врезались со скоростью 0,2—0,4 м в год и два оврага отступили в весенне-летний период дождливого 1984 г. на 1,2 и 1,7 м.

Подтвердилась зависимость интенсивности овражной эрозии от экспозиции склонов, что связано с различиями в мощности снежного покрова. По сведениям С. У. Каримханова, проводившего изучение оврагов Клинско-Дмитровской гряды, мощность снежного покрова на склонах северной экспозиции на 27—28 мм больше, чем на склонах южной экспозиции. На склонах восточной экспозиции мощность снежного покрова на 10—11 мм больше, чем на склонах западной экспозиции. Объем талых вод и энергия потока больше на склонах северной и восточной экспозиции. В то же время процесс протаивания пород на этих склонах развивается медленнее, что предохраняет их от размыва в период наиболее активного снеготаяния.

Карст Московского региона относится к типу погребенного. Исключение составляет южная окраина области, где карстующиеся известняки выходят на поверхность. По классификации А. Г. Чижишева, Московский регион входит в состав Московско-Окской карстовой провинции Московского карстового округа. Процесс карстования развивается в толще пород карбона, проявляясь на поверхности лишь там, где плотная кровля юрских глин прорвана, имеет небольшую мощность или отсутствует, а покров моренных суглинков не может препятствовать провальнo-суффозионным прорывам в карстовые полости.

В Московской области насчитывается более 700 карстопроявлений, хотя, без сомнения, эта цифра дает лишь самое приблизительное представление о развитии карста в регионе. Про-

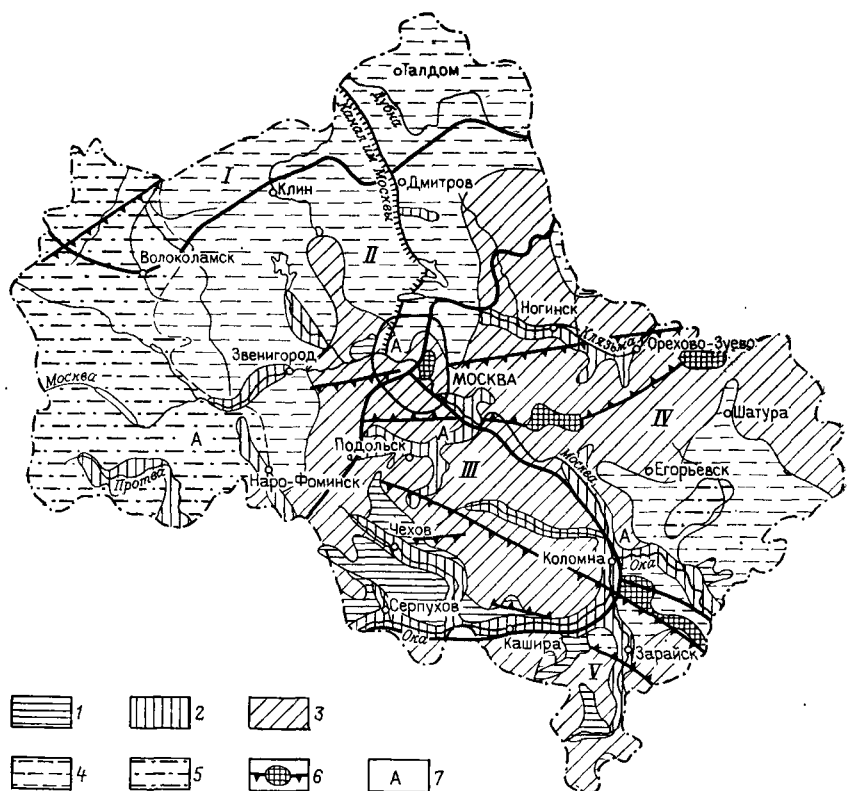


Рис. 14. Карта районирования карста Московской области.

*Районы развития карста и его проявлений на поверхности: 1 — площадного (юрский водоупор отсутствует, мощность четвертичного, преимущественно песчаного покрова, небольшая); 2 — локального (в пределах погребенных речных долин, где юрский водоупор размыт); 3 — эпизодического (юрский водоупор островной или маломощный, мощность четвертичных отложений пестрого состава колеблется в широких пределах, карстопоявления не зафиксированы, но возможны).*

*Районы, в пределах которых проявление карста мало вероятно: 4 — карстопоявления не встречаются и маловероятны (сплошное развитие юрского водоупора, мощная толща перекрывающих суглинистых отложений); 5 — карстопоявления возможны при техногенном нарушении геологических условий (снятии кровли четвертичных отложений при условии отсутствия или малой мощности юрского водоупора). Очаговое проявление карста: 6 — в зонах тектонических нарушений; 7 — на участках вскрышных земляных работ. I—V — геоморфологические районы*

явления глубинного карста отмечаются почти на половине территории области (рис 14).

Над проблемой изучения карста Московского региона долгое время работал С. И. Парфенов, чьи сведения о природе и характере развития карста Подмосковья до недавнего времени являлись наиболее обоснованными. По подсчетам, проведенным под его руководством, площадь пораженных карстовыми процессами земель в пределах Московского региона составляет 3500 км<sup>2</sup>. Однако последние работы Ю. Б. Елисеева, М. Э. Аронзон, А. А. Жорова и других с привлечением материалов новей-

ших съемок с воздуха и из космоса показали, что приведенное значение занижено по крайней мере в 2 раза.

Классическая форма проявления глубинного карста на поверхности в пределах Московского региона — воронка. Кроме того, здесь встречаются карстовые овраги и долины рек (реки Виндык, Вскходы и Уника, ручьи Жуковский, Святой ключ и др.), где русловые карстовые провалы глубиной до 5 м и длиной 40—50 м могут служить причиной ухода реки с поверхности. Так, у с. Верхнее Шахлово исчезает в карстовом провале небольшой ручей, выходящий на поверхность лишь через 150 м в обрыве у Нары.

Искаженные эрозией, линейно вытянутые мелкие формы карста глубиной 1,5—2 м часто встречаются в долинах Лопасни, Мочи, Речицы, Городенки, Коломенки и на междуречьях Лопасни, Рожайки и Северки. Долинные воронки могут образовывать своеобразные цепочки. Одна из таких цепочек, находящаяся на левом берегу Жданки, описана Е. М. Шиком.

Карстовые котловины встречаются по южной окраине региона. В долине Шопенки (приток Протвы) у с. Трубино описана крупная карстовая котловина длиной 475 м, шириной 65 м и глубиной 14 м.

Карстовые озера довольно многочисленны в Мещере и севернее ее, в пределах Верхневолжской равнины. Они округлы в плане. Глубина их значительна и достигает 35 м. Воды этих озер отличаются сравнительно низкие температуры, незначительно повышающиеся в летний период. В типичных карстовых озерах (Глухое, Черное, Бордуковское и др.) слабо развита водная растительность, процессы евтрофикации почти не коснулись их. Иногда их выделяют в отдельный коррозионно-эрозионный или коррозионно-просадочный тип. Карстовые воронки на территории Москвы имеют небольшой диаметр. Сходные проявления карста в виде разрозненных воронок диаметром до 25 м и глубиной до 5 м характерны для Подмоскovie. Из наиболее изученных районов можно назвать долины Рожайки и Протвы (вблизи Верей), Оки, Москвы, Пахры, Лопасни, Мочи, водораздельные участки вблизи г. Озеры, южнее пос. Серебряные Пруды и т. д. На междуречье Нары и Лопасни встречены карстовые воронки диаметром до 30 м и глубиной до 7 м, а западнее д. Бекетово (левобережье Жданки) Е. М. Шик описал сухие воронки диаметром до 100 м при глубине 5—6 м.

В подавляющем большинстве случаев диаметр воронок колеблется от 5 до 15 м. Нередко они группируются, образуя небольшие поля, которые встречаются на левобережье Нары, вблизи Серпухова и сел Пролетарское и Васильевка, в низовьях Протвы и в Приокско-террасном заповеднике.

Особым разнообразием отличаются карстовые формы Мещеры, впервые описанные и закартированные в 1953 г. Д. С. Шарцем. Карстовые воронки или затянутае болотом следы их развиты здесь по рекам (Судогда, Гусь, Колпь, Поля) и на во-

доразделах. Диаметр их достигает 50 м, а глубина — 3,5 м, но в подавляющем большинстве они значительно более мелкие.

Провальные карстовые формы, как правило, вытянуты (по линеаментам или вдоль рек), часто асимметричны и угловаты в плане. Они встречаются на юге области и значительно реже на Москворецко-Окской равнине в долинах Пахры, Лопасни, Вскоды, у сел Малое Юсупово, Константинов Овраг и др.

Если участки развития и проявления карста на поверхности выделяются без особого труда, то северная граница карстоопасной области все еще не установлена. На широте г. Истра встречаются типично карстовые по внешнему виду воронки. Результаты опроса жителей говорят в пользу карста. Но геологические условия здесь явно неблагоприятны для проявления на поверхности глубинных карстовых процессов. Далеко на запад региона отнесена граница карстоопасных участков на машинной карте М. Э. Аронзон, составившей программу автоматического выделения карстоопасных участков по набору факторов-причин этого процесса.

Интересные закономерности развития карстовых процессов в зависимости от особенностей конкретного горизонта карстующихся известняков отмечены Т. Ю. Жакэ и О. М. Подковыровым на юго-западе региона. Тарусско-стешевские известняки (песчаное перекрытие 3—5 м) стимулировали образование разбросанных воронок глубиной 3—4 м и диаметром 5—15 м. В тех же условиях над протвинскими известняками группировались мелкие (до 5 м в диаметре) неглубокие (до 1 м) воронки. Над каширскими известняками фиксировались как отдельные небольшие (диаметр 2—4 м) довольно глубокие (до 3 м) воронки, так и небольшие поля их. При бурении наиболее крупные карстовые полости были встречены в породах веневского и тарусского горизонтов и в нарской толще известняков.

Карст хорошо индицирует участки нарушения и размыва юрского водоупора. Нередко карстовые проявления локализуются в местах тектонических подвижек и разрушения пород, как это наблюдается, в частности, на междуречье Учи и Черной в зоне установленного контакта тектонических движений разного знака. Такие участки развития карста Подмосковья как Усть-Деснинский, Средне- и Верхнелопаснинский, Любучино-Черемовский, Городенко-Северный, Верхнеречинский, Нижнепротвинский и Лужковский, образуют две субмеридиональные полосы, удаленные друг от друга на 8—10 км, что может свидетельствовать в пользу их связи с планетарной трещиноватостью. Во всяком случае сгущения карстовых форм довольно хорошо увязываются с линеаментами, выделяемыми по космическим снимкам местности.

Важной особенностью карста Подмосковья является его активность. Свежие карстовые воронки чаще всего образуются в период весеннего снеготаяния. На склонах старых крупных воронок и карстовых озер под Шатурой выделяются бортовые

террасы. На юге области вблизи с. Дмитрово борта воронок диаметром до 50 м имели по три-четыре микротеррасы высотой 0,3—0,4 м, придававшие этим формам на аэрофотоснимках своеобразный концентрический рисунок, свидетельствующий о циклическом росте карстовых форм.

В пределах Московского региона выделяются оползни в четвертичных отложениях и в коренных породах. Первый тип оползневых смещений распространен по всей территории области. Основную массу составляют небольшие оплывины с глубиной захвата от 1 до 3 м и шириной 10—15 до 40 м (берега р. Сестры под Клином), но встречаются и более крупные оползневые смещения, захватывающие склон на глубину 18—20 м. Единичные оползни имеют циркообразную стенку срыва, иногда глетчеровидные. Сливаясь по фронту смещения, они иногда поражают береговые склоны на значительном протяжении (до 0,8 км). Амплитуды смещения этих оползней варьируют от 1 до 20 и даже 30 м. Такие крупные смещения отмечались в долинах Рузы (д. Федотово), Москвы (села Старониколаево, Ботино, Васильевское), Истры (г. Истра). Нередко смещения многоярусные. Так, на правом берегу Рузы насчитываются три последовательных молодых оползневых смещения. Довольно крупные оплывины отмечаются на торфяных берегах, подмываемых ручьями. Ширина колеблется от 1 до 5 м, а глубина захвата пород составляет 1 м.

Глубокие оползни коренной основы связаны с деформациями в глинах нижнего мела (парамоновские глины), оксфордского и келловейского ярусов верхней юры, каширской и верейской свит среднего карбона (рис. 15).

Деформации в глинах нижнего мела, мощность которых редко превышает 2 м, малочисленны и мало чем отличаются от оползней в четвертичных породах. Крупные оползни этого типа в долинах Колокши (с. Варварино) и Лутосни (с. Спас-Коркодино) протяженностью 600 м насчитывают три оползневых смещения. Их длина по оси смещения 100—150 м. Сходные оползни можно встретить в долинах Яхромы и Торкоши.

Широко распространены в Подмосковье оползни в юрских глинах, мощность которых может достигать 60 м и более. Они классифицируются В. В. Кюнтцелем как оползни-сдвиги, а Е. П. Емельяновой как оползни выдавливания.

Не один десяток лет изучаются оползни на участке Ленинских гор в Москве. По расчетам И. О. Тихвинского, глубина оползневых деформаций составляет здесь не менее 35 м. Длина отдельных оползневых цирков может достигать нескольких сотен метров; сливаясь, они поражают склоны на протяжении 3—4 км. Глубокие оползни в юрских глинах описаны по левому берегу Оки (с. Панфилово), по рекам Жданке, Северке, Москве и Коломенке (с. Гололобово).

На заокских землях в южном Подмосковье оползни в юрских глинах отличаются свежестью форм и изменчивостью

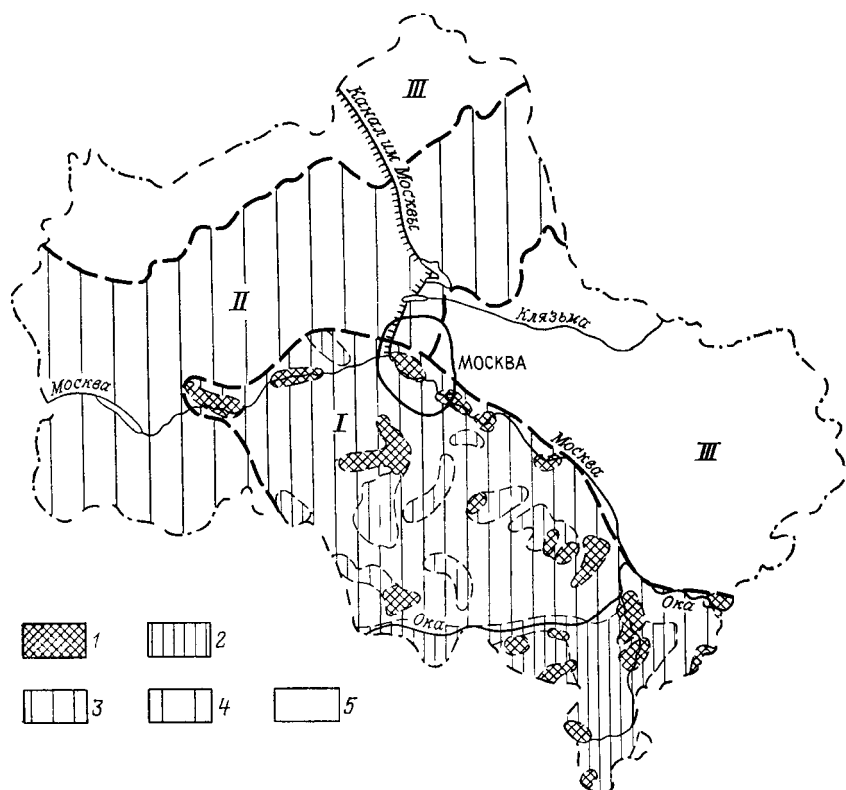


Рис 15 Карта пораженности глубокими оползнями территории Московской области (по С И Пустыльнику, 1986)

Оползневые районы I — широкого развития глубоких оползней (по площади), II — развития единичных глубоких оползней III — глубокие оползни не встречены Пораженность территории оползнями (по долине реки) 1 — оползень на 1—3 км, 2 — оползень на 3—5 км 3 — оползень на 5—15 км 4 — единичные оползни 5 — оползни не встречены

очертаний — все это создает картину «застывшего» движения, неустойчивого равновесия. В качестве примера можно привести систему зарайских оползней на р. Осетре, где насчитывается четыре четкие оползневые ступени и хорошо сохранились крутая стенка срыва высотой 10—12 м и поверхность верхнего оползневого блока, сместившегося с запрокидыванием. Склон не стабилизировался за бровкой его видны трещины закола, предшествующие смещению пород, оконтуривающие блок пород общей протяженностью 25 м и шириной 0,8—1,5 м.

Южнее, в районе активного карста и близкого к поверхности земли залегания карстующихся пород парагенез связал воедино процессы карста, эрозии и оползнеобразования. Это привело к значительному разнообразию форм проявления оползневых смещений в глинах юры и карбона. Здесь можно встретить

оползни различной формы: ложкообразные, глетчеровидные и циркуобразные.

Оползни в породах карбона встречаются реже. Известны крупные оползни этого типа в долинах Оки, Москвы, Нары, Лопасни, Коломенки, Вешенки и Песоченки, где наблюдаются единичные циркуобразные и фронтальные (протяженностью до 2 км) оползни. Чаше всего это оползни сдвига, длина которых по оси смещения достигает 240 м, а деформации распространяются на глубину 60 м (г. Пушкино). Отмечаются и небольшие оползневые смещения, например на левом берегу Мочи ниже с. Сатино-Татарское, где ширина оползневых тел, смесившихся с 40-метрового склона, составляет 20—40 м. Большинство таких оползней относится к подошвенному типу, но встречаются и «висячие» разновидности.

Всего за более чем 30-летний период наблюдений за глубокими оползнями в регионе произошло два крупных смещения. Одно из них описано В. В. Кюнтцелем, который отмечает, что интенсивные смещения длились двое суток. Ширина оползневого склона составила 150 м, а образовавшаяся стенка срыва имела высоту 4 м.

Крупные оползни в каменноугольных и юрских отложениях тяготеют к крыльям тектонических прогибов и сопряженных с ними поднятий. Их образование нередко относят ко времени формирования I и II надпойменных террас. Исследовавшие эти оползни Е. П. Емельянова и В. В. Кюнтцель пришли к выводу, что продолжительность оползневых циклов, или периодичность оползневых подвижек, составляет 300 (400)—500 лет.

Механическая суффозия наблюдается на ограниченных участках берегов Оки, где в уступах обнажаются известняки, и на юго-западе территории, где можно встретить характерные блюдцеобразные понижения с неясно выраженными краями (диаметр 2—6 м, глубина 0,2—0,5 м).

Эоловые формы приурочены к песчаным аллювиальным террасам, где они достигают длины 30 м при высоте 1—6 м (реки Дубна, Сестра, Москва, Ока, Клязьма, Нерская). Отмечаются и более крупные образования (р. Лобь). В Мещере эоловые бугры и гряды характерны и для водораздельных поверхностей. Такие гряды иногда протягиваются на 1 км и более. Вторичное развевание — процесс редкий, обычно он затрагивает свежечищенные или переосушенные торфы.

Осыпи формируют маломощные осыпные шлейфы вдоль обрывистых берегов Оки в местах выхода на дневную поверхность известняков карбона. Процесс малоактивен.

Болотная солифлюкция была выявлена по материалам аэрофотосъемки на заболоченных участках Яхромско-Дубнинской древней ложбины стока. Этот процесс в настоящее время вероятен и на болотах крупных озерно-болотных котловин в Мещере и на севере Московской области.

Пораженность земель Подмосковья экзогенными геологическими процессами довольно высока, если учесть плотность освоения территории. Отторженность земель в ряде районов достигает 27 %. При подсчетах не учитывались крупные лесные болота, рассматриваемые как полезный элемент ландшафта. Даже на юге области от 6 до 12 % земель выведены из освоения геологическими процессами. Эти показатели максимальные, но даже 2 или 3 % отторженных геологическими процессами земель для урбанизированных территорий — это много. Управление современными геологическими процессами может привести к значительному сокращению площади нарушенных земель. Это относится прежде всего к болотам, чутко реагирующим на изменения водности и испаряемости с поверхности.

Экодинамическая карта Московского региона, на которой показаны типы и характер протекания процессов, вместе с картой типизации геологической среды и видов техногенного воздействия (структуры техносферы) позволяют выделить типичные сочетания (воздействия—процесс—условия), которые затем используются в прогнозах в качестве прогнозных модулей.

## 2.2. ТЕХНОСФЕРА РЕГИОНА

### История освоения

То, что нередко по привычке называют «нетронутой природой» Подмосковья, на самом деле является продуктом длительного антропогенного воздействия, не столь сокрушительного, как при урбанизации, но вполне достаточного для крупномасштабного преобразования растительности и почв. «Естественных», «нетронутых» ландшафтов в Московском регионе нет. Смена широколиственных лесов хвойными и мелколиственными, повсеместное снижение водности малых рек и болот и ряд других изменений почв, поверхностных вод и растительности связаны с деятельностью человека, в том числе и с глобальными изменениями климата и водного баланса, загрязнением среды. Не прошли бесследно те изменения, которые были внесены в природную среду за многовековую историю освоения региона. Мы давно привыкли к «карстовым пещерам» Подмосковья, воспринимая их как естественные образования, но этот карст в большинстве случаев является творением рук человека, издавна добывавшего здесь известняк.

Изучавшие смену растительных сообществ в пределах Среднерусской возвышенности в голоцене В. А. Климанов и Т. А. Серебрянная пришли к выводу, что на этой обширной территории влияние антропогенного фактора стало сказываться на ландшафте 1500 лет назад.

В истории освоения Московского региона наблюдается определенная этапность или скачкообразность нарастания влияния



человека на окружающую среду в целом и на интересующую нас часть литосферы в частности

Если судить по находке черепа с явными признаками неандертальца, первые люди появились на территории Подмосквья около 21 тыс. лет назад, еще в палеолите. Первые следы человеческой деятельности в виде стоянок людей каменного века (4—3 тыс. лет до н. э.) обнаружены при археологических раскопках. Сами эти следы были чуть более заметными, чем следы обитания животных того времени. Мы назвали бы этот длительный в историческом плане и короткий в геологическом времяисчислении период предкоминтационным, т. е. временем доактивных контактов человека и среды.

С начала бронзового века (2 тыс. лет до н. э.), когда охотников и рыболовов потеснили племена скотоводов, ущерб растительности и почвам стал более заметен. От этого, древнеселитебного, этапа контактов человека и природной среды до нашего времени сохранились разбросанные могильники, относимые археологами к древней фатьяновской культуре. Но могильник — это то, что сейчас мы бы назвали антропогенной формой ландшафта. По сути это та изначальная искусственная форма, та точка отсчета, от которой берет начало длительный процесс преобразования среды, реконструкции таких компонентов ландшафта как растительность, почвы, мелкие реки и озера.

Железный век, начавшийся около 1 тыс. лет до н. э. и завершившийся лишь в VII в. н. э., оставил после себя немало следов, дошедших до нас прежде всего в виде изменений рельефа на месте укрепленных городищ. К концу этого этапа относят древнейшие (VI в.) из найденных захоронения славян на берегу р. Москвы у с. Беседы. В это время человек осваивает производство железа. Для укрепления городищ использовались пески и глины, добывавшиеся рядом с поселениями. Эта культура называлась дьяковской.

В последующие столетия, вплоть до X в., идет расселение славян. Обработка земли начинает доминировать над охотой и рыболовством. Целые столетия господствует подсечно-огневой способ расчистки земли, когда лес выжигался, остатки его выкорчевывались, и очищенная земля использовалась в течение трех-четырех лет. Затем таким образом осваивались новые земли.

Первые славянские города появились в IX в. О темпах строительства можно судить по тому факту, что вятичи за 300 лет построили 20 городов. В 1147 г. была основана Москва, а в течение следующего столетия образуется и набирает силу Московское княжество. Становление и укрепление государственной структуры стимулировало рост активности воздействия человека на среду. Растут и укрепляются города — очаги промыслов, центры торговли и обмена товарами. Начинается процесс расселения ремесленников ближе к местам добычи сырья.

Строительство первой каменной церкви в 1293—1302 гг при князе Данииле Александровиче Московском положило начало многовековой добыче известняка, песчаника и доломита в Подмосковье, оставившей после себя следы в виде «карстовых пещер» и каменоломен. О масштабах перемещения камня говорят подсчеты Н. Н. Воронина, согласно которым потребность в камне для фундаментов и стен первого каменного Московского кремля в XIV в. составила 54 тыс м<sup>3</sup>.

Территории городов того времени претерпели довольно сильные изменения, затронувшие и верхний слой пород, и геологические процессы, и условия питания и разгрузки подземных вод неглубоких горизонтов. Этому способствовали планировка поверхности, дренаж и мощение улиц камнем. Одновременно увеличивалась площадь пахотных земель, в основном вокруг городов и южнее Москвы, где в XVI в. пашня занимала уже 10 % территории.

В конце XVII в. и особенно в XVIII в. наступает время стремительного промышленного развития России. Б. Паелов, изучавший историю фабрично-заводской промышленности России, в 1899 г. утверждал, что начало всех почти главнейших отраслей фабрично-заводской промышленности следует отнести к временам Петра I, хотя первый железодельный завод был построен на Истре еще в 1670-х гг., тогда же возникли первые мануфактуры. Если в 1670-х гг. в центре региона насчитывалось 11 мануфактур и один завод, то уже к XVIII в. число мануфактур возросло до 26, а фабрик и заводов — до 20. В начале XVIII в. рост числа мануфактур опережает рост числа заводов. В 1710 г. на 54 мануфактуры приходился 21 завод, а в 1780 г. в Москве и ее окрестностях насчитывалось уже 64 завода и фабрики.

XX в. получил немало названий, отразивших ломку сложившегося стереотипа взаимоотношений человека и окружающей среды, а также бурный рост технической оснащенности общества. Московский регион вошел в XX в. со сложившейся структурой городского хозяйства и промышленности. Его ландшафты претерпели серьезные антропогенные изменения и по существу являлись вторичными, или антропогенными. К началу этого столетия площадь сельскохозяйственных земель региона приблизилась к 22 тыс км<sup>2</sup>. В 1899 г. в Московской губернии насчитывалось 1943 фабрики и завода, на которых трудились 191 600 чел. И если еще в 1773 г. И. И. Новиков отметил явные следы обмеления рек, указав в качестве причин вырубку лесов и распашку склонов, то к концу XIX в. вряд ли можно было найти хотя бы одну реку не перегороженную плотинами. На р. Москве в то время уже существовали плотины у пос. Перервы (подъем воды 5,4 м, ширина зоны подтопления 18 км), у сел Беседы (3 м и 16,5 км), Андреевское (2,6 м и 15 км), Софьино Марково (3,2 м и 34 км), Фаустово-Бельково (2,9 м

и 32,1 км), у устья Северки (2,3 м и 32,1 км). Гидрологические наблюдения, которые велись на р. Москве с 1788 г., свидетельствовали о снижении водности реки еще в те времена.

Распашка земель нередко сопровождалась их осушением. В 1950-х гг. можно было видеть старые канавы с остатками деревянного крепежа бортов на землях Троице-Сергиевой лавры (ныне г. Загорск). Искусно справлялись строители и зодчие того времени с угрозой развития склоновых процессов при строительстве, например, Новоиерусалимского монастыря. Оптимальный угол искусственно спланированного склона и тщательно «отшлифованная» поверхность служили надежной гарантией его устойчивости.

По сведениям В. И. Котельникова, в конце XIX в. в Московской губернии приходилось 40 чел. на 1 км<sup>2</sup>. В 1899 г. он писал, что в своей неприкосновенности лес, пожалуй, нигде не сохранился в Московской промышленной области. Вступив в XX в., общество во много раз интенсифицировало свое воздействие на биосферу, которая, как мы видим, и до этого была затронута серьезными преобразованиями в той своей части, которая вовлечена в зону активного труда человека. Таким образом, XX в. преобразовывал уже преобразованное, углубляя и развивая этот процесс. О темпах урбанизации в текущем столетии свидетельствует рост Москвы как центра образовавшейся агломерации.

В таком регионе как Московский, имеющем длительную историю освоения, нет места, где бы не ощущалось влияние человека на среду. Регион представляет собой крупную природно-техническую полисистему, легко дифференцируемую на системы низшего порядка, различающиеся способом, технологией и целями освоения. При региональном картировании, как правило, выделяются сельско- и лесохозяйственные, гидротехнические, промышленно-индустриальные, урбанизационные, горнодобывающие и рекреационные системы. Деление это во многом условно, так как зоны влияния систем не имеют четких границ. Само это влияние, суммируясь, сильно искажает картину техногенеза. Вместе с тем выделение таких полужакрытых систем с четким «ядром» энерговоздействия на среду позволяет ввести пространственные критерии классификации самого этого воздействия. «Ядро» рассматривается как источник техногенного воздействия, а геологическая среда — как его объект.

Выделяя современные источники техногенного влияния на среду, объединяя их в иерархическую систему, нельзя не учитывать те ее изменения, которые наблюдались в прошлом. Современное воздействие необходимо рассматривать на фоне исторически сложившейся картины изменений среды, когда технология прошлого фигурирует в качестве некоего регионального источника воздействия, дошедшего до нас через последствия его влияния в исследуемой части биосферы.

## Характер и виды современного воздействия

Хозяйственная деятельность человека отразилась на режиме подземных вод и практически на всех современных геологических процессах. Таким образом, речь может идти о региональных техногенных изменениях геологической среды, признаки которых можно наблюдать даже на тех лесных и болотных ландшафтах, которые все еще по традиции считаются нетронутыми. Работая с аэрофотомоделями таких ландшафтов, можно видеть мозаику старых и не очень старых вырубок, просеки, тропы, участки старой добычи горфа, песка, глины, вкрапленности садовых участков, следы мелиорации и разрушенных плотин на малых реках и т. д. Этим лишний раз подтверждается правильность выбранной позиции, согласно которой весь регион рассматривается как единая природно-техническая полисистема.

Лесохозяйственные ПТС, куда вошли все леса региона, занимают около 36 % его площади (рис. 16). Это крупные, нередко заболоченные массивы лесов севера Подмосковья, постепенно дробящиеся, уменьшающиеся по площади по мере продвижения к югу и в конце концов рассеивающиеся в виде небольших островков и лесополос в районе Заокского плато.

Большая плотность населения, загрязненность грунтовых вод и почвы, ветроперенос загрязняющих веществ, особенно вблизи автодорог и свалок, негативно сказываются на произрастании широколиственных пород деревьев. Определенный ущерб лесам наносят и садоводческие кооперативы, число которых постоянно увеличивается. По нашим наблюдениям, рубка хвойных и широколиственных пород деревьев захватывает соседствующие с садовыми участками леса в радиусе 1—1,5 км.

Лесные массивы играют роль фильтра, адсорбируя, фильтруя и преобразуя загрязняющие среду вещества, переносимые поверхностными водами или воздушными потоками. Но лес не всегда способен справиться с растущими объемами загрязняющих веществ. Накапливаясь в фитомассе и в лесных почвах, эти вещества постепенно проникают в подпочвенное пространство, загрязняя подпочвенные воды. При рубке и переработке леса влияние техники на среду может быть довольно интенсивным, но оно непродолжительно и локализуется на небольших участках.

Анализ изменения площадей, занятых лесом, показал, что с конца 1930-х гг. до середины 1970-х гг. они увеличились. Особенно заметен прирост лесных угодий в Мещере, где он связан с облесением болот и земель, нарушенных разработкой торфа. Но в настоящее время площади лесов сокращаются. Процесс этот еще эпизодичен, во многом носит случайный характер, но тем не менее развивается. Он связан в основном с рубками лесов под садовые участки, вторичным заболачиванием рекультивированных земель и лесных угодий.

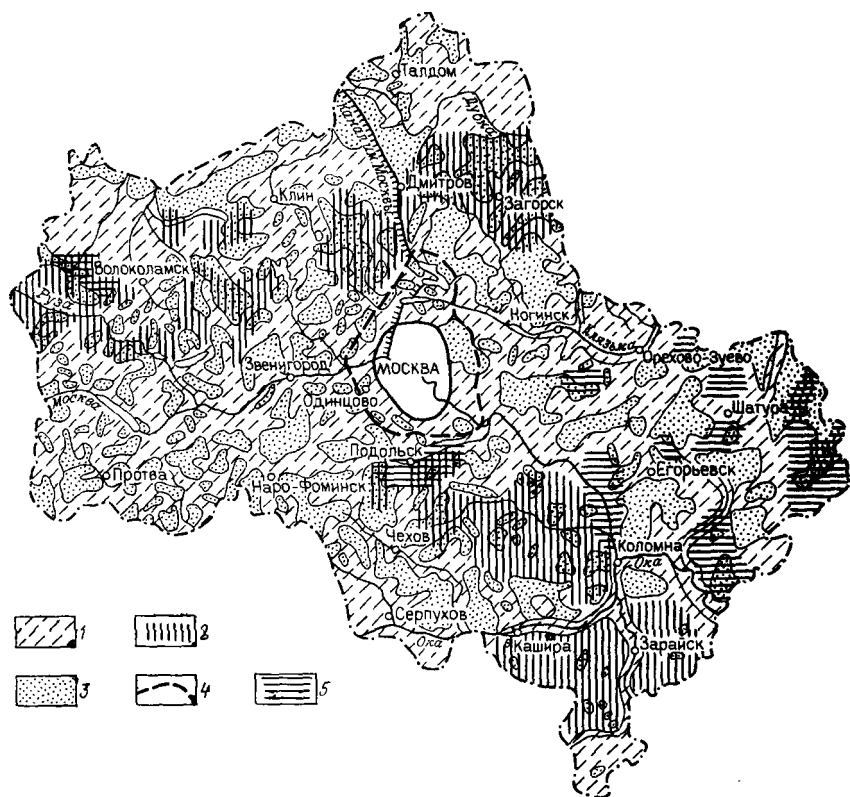


Рис. 16. Карта лесо- и сельскохозяйственных земель:

1—2 — преобладают сельскохозяйственные земли, в том числе подверженные активной эрозии (2); 3 — преобладают лесные массивы; 4 — границы лесопаркового пояса Москвы; 5 — территории сравнительно широкого развития неудобий и нарушенных земель

Сельскохозяйственные ПТС захватывают обширные территории и отличаются пестротой состава, в котором пашни, луга и сенокосы соседствуют с животноводческими комплексами, механизированными хозяйствами и селитьбой. На юге региона они занимают до 60% площади земель, сокращаясь к северо-востоку. Так, в Шатурском районе на их долю приходится лишь около 20 % общей площади.

В пределах сельскохозяйственного комплекса можно выделить луга, пахотные земли, животноводческие хозяйства, селитьбу и механизированные хозяйства обслуживания, которые оказывают различное воздействие на среду.

Луга и пастбища преобладают среди сельскохозяйственных земель на севере области и в ряде районов ее восточной окраины. В основном же доминируют пахотные угодья.

Несмотря на значительный прогресс в деле нейтрализации влияния животноводческих комплексов на среду, они все еще

служат источником серьезного загрязнения почв, поверхностных и грунтовых вод биологически активными веществами.

При изучении и контроле состояния геологической среды сельскохозяйственных земель особого внимания требуют факты загрязнения. Еще в 1930-е гг. Н. И. Вавиловым была выявлена дифференциация биохимических свойств сельскохозяйственной продукции, связанная прежде всего с биохимическим составом почв, почвообразующих пород и грунтовых вод.

Агрогенные геохимические воздействия включают воздушное загрязнение выхлопными газами сельскохозяйственных машин; внесение фосфорных, калийных и азотных удобрений, почвоулучшителей (известь, торф, фосфогипс, шлаки, золы); обработку территории фунгицидами, гербицидами и инсектицидами; удобрение полей отходами промышленности и животноводства, а также поливы загрязненными водами рек.

Компосты из твердых бытовых отходов, используемые в качестве удобрений, имеют довольно сложный состав (в %): бумага до 45, пищевые отходы до 27, древесина до 4, металл до 10, текстиль до 7, кости до 3, стекло до 7, кожа и резина до 6, пластмасса до 1,6 и т. д. В последнее время технология сбора, хранения и переработки этих отходов заметно усовершенствовалась. Выборочная проверка показала, что многие животноводческие фермы области все еще служат источниками загрязнения грунтовых и поверхностных вод. Так, загрязнение поверхностных вод в результате попадания навозной жижи из навозохранилищ молочных ферм отмечалось в реках Нахабке, Сетуни, Тарусе, Мжуте, Лусьянке, Исконе Дубне, Кунавке и др.

Поголовье крупного рогатого скота и свиней к границам Московской области уменьшается. Был выведен даже центростремительный градиент плотности этого поголовья [26], согласно которому общее поголовье крупного рогатого скота уменьшается к периферии в пропорции 2,5 головы, а свиней 8,3 головы на каждые 10 км. В целом на 100 га сельскохозяйственных угодий приходится 60—90 голов крупного рогатого скота; 1,5—23 овец и коз; 20—700 свиней и 200—100 000 птиц.

По всей области разбросаны машинно-тракторные станции, мастерские обслуживания сельскохозяйственной техники, котельные, кормохранилища, хранилища различного рода удобрений и горючесмазочных веществ, которые оказывают, хотя и точечное в масштабах региона, но тем не менее заметное совокупное влияние на окружающую среду.

Значительное влияние на обводненность земель, а следовательно, на все почвообразовательные процессы и растительность оказывает мелиорация. Еще в XIX в. велись работы по осушению болот на землях Троице-Сергиевой лавры и в Мещере. Площадь улучшенных земель в Подмоскovie составляет более 360 тыс. га, причем 39 % приходится на орошаемые и 61 % — на осушаемые земли.

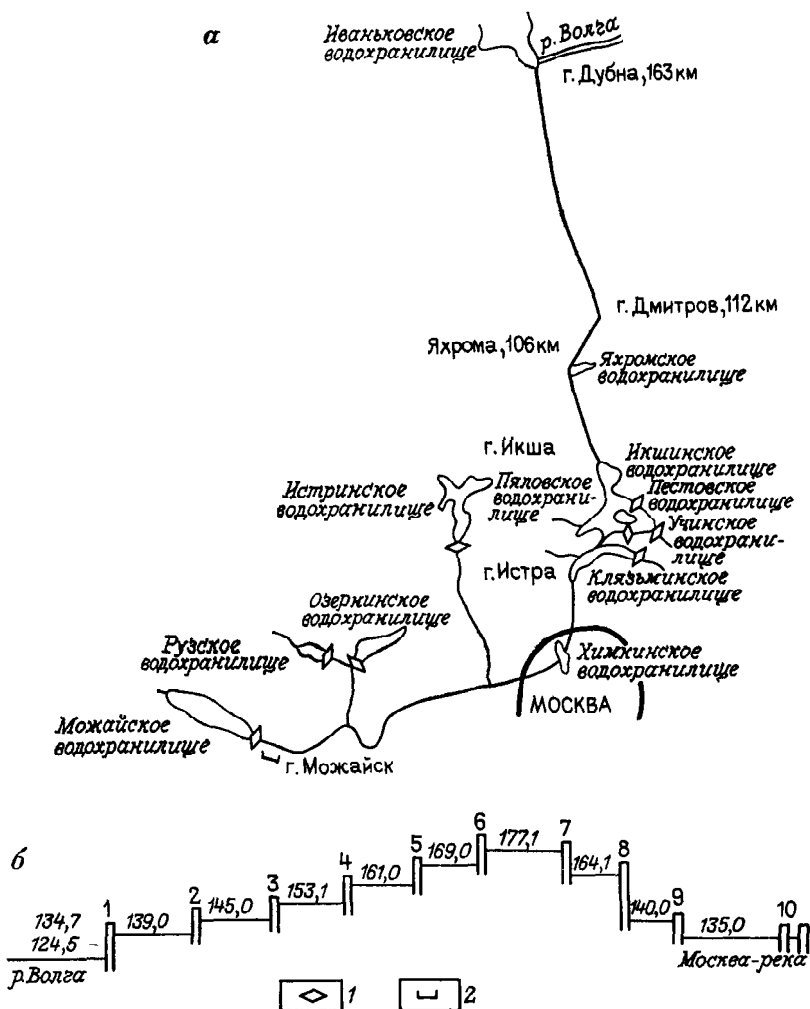


Рис. 17. Система Московских водохранилищ (а) и профиль канала им. Москвы (б):

1 — плотина; 2 — шлюз. На профиле даны уровни воды в метрах

Если учесть огромные площади сельскохозяйственных земель и длительность этапа их освоения, то суммарное воздействие сельского хозяйства окажется сильнее, чем влияние всех остальных ПТС области.

Гидротехнические ПТС включают каналы, водохранилища и зарегулированные отрезки рек (рис. 17). Вообще речную сеть области можно рассматривать как две сложные полисистемы, разъединенные региональным водоразделом. Создание системы водохранилищ изменило режим расхода Клязьмы, Ру-

зы, Истры, Москвы, Яхромы и Сестры. Но даже там, где реки текут в своих естественных руслах, влияние человека проявляется в спрямлении их русел, что характерно для многих рек северного Подмоскovie, и создании перегораживающих плотин, которые известны с XVI в. (сохранились их остатки в пределах г. Радонежа).

В Подмоскovie нет ни одной, даже самой малой реки, не перегороженной плотинами или не несущей следов спрямления русла. Реки Руза, Истра и Москва ниже водохранилищ можно рассматривать как «русловые тракты», по которым вода поступает из водохранилищ к водозаборному створу. Естественно, работает такой тракт в искусственном, или технологическом, режиме.

Еще в начале XX в. р. Москва в пределах города имела глубину 1,5 м. Теперь она значительно увеличилась за счет дополнительного притока волжских вод (около 25 м<sup>3</sup>/с). Регулировка паводковых колебаний и очистной сброс вод через шлюзы — элементы управления режимом реки. Только от Перервинской плотины до устья р. Москвы находятся Бесединская, Андреевская, Софьинская, Фаустовская и Северская плотины, а сам устьевой участок находится в зоне влияния Белоомутской плотины на Оке.

Руза получает дополнительное питание из Вазузы, где в 1976 г. создано водохранилище. На Большой Сестре, Наре (Нарские пруды), Исконе, Волошне, Малой Истре и Протве сооружены плотины рыбных хозяйств, сброс вод через которые осуществляется осенью. Перегорожены плотинами реки Иночь, Лусянка, Руза, Пахра (Стрелковская фабрика, Макаровская и др.), Воря (прядельно-ткацкая фабрика, мельничные установки и т. д.), Нерская, Северка (мельничная и др.), Серая, Клязьма (Успенская плотина и др.), Шерна, Уча, Пехорка, Яуза (Хлудовский гидроузел, Богатырская плотина и др., вблизи Мытищ русло спрямлено — его глубина 1—2 м, ширина 4—6 м), Истра (сохранился канал спрямления реки, прорытый при Петре I), Химка (Химкинский перепад с напором 2,85 м), Колодь (устьевая дамба), Торгаша (мельничные и фабричные плотины), Лутосия (мельничные плотины), Сестра (от истока до Клина построены две плотины ГЭС, две мельничные и одна водоподъемная), Банька и др.

Крупные водохранилища Московской области расположены в основном на южном склоне Смоленско-Московской возвышенности, и лишь новый Пахринский водоем находится южнее Москвы. Все эти водохранилища долинного типа, суммарная площадь их водного зеркала составляет примерно 198 км<sup>2</sup>. В основном они были созданы более 50 лет назад, хотя есть и более поздние.

Водоохранилища вносят существенные изменения в режим рек. Длительное время они вырабатывают свои берега, формируют их в соответствии с новыми гидрологическими, гидрогео-



логическими и микроклиматическими условиями. Эти процессы являются предметом инженерно-геологического изучения.

Канал им. Москвы вместе с его продолжением, р. Москвой, представляет собой как бы гидрографическую ось, рассекающую регион с севера на юг. Он был открыт в 1937 г. и на своем почти 128-километровом пути 108,6 км идет по искусственному руслу, а 19,4 км — по водохранилищам. Коэффициент извилистости канала 1,14. Шесть насосно-шлюзовых станций поднимают воду на высоту 38,11 м (см. рис. 17), чтобы, пройдя 51 км, она спустилась на отрезке длиной 7 км на 36 м. Канал имеет 11 шлюзов, 17 плотин (3 железобетонные и 14 земляные), 15 гидроэлектростанций и 19 мостов. Реконструкция охватила зону канала шириной от 200 до 600 м. О масштабах изменения ландшафта свидетельствует факт перемещения в пределах трассы 202 млн. м<sup>3</sup> грунта. Здесь было уложено 3,11 млн. м<sup>3</sup> бетона и железобетона, перенесено 203 селения. Еще до открытия канала на его берегах высажено 100 тыс. декоративных деревьев и 500 тыс. кустарников.

Канал им. Москвы во многом уникален как четкостью границ системы и удивительной рациональностью неоландшафта, так и гармонией с окружающей природой. Планировка склонов искусственных выемок и насыпей столь чиста и совершенна, что до сих пор они почти не затронуты эрозией и оползнями. Отмеченные два случая эрозии связаны с неправильным заложением дренажной канавы и выпасом скота. Сходные по исключительной устойчивости склоны можно наблюдать по берегу Истры у Новоиерусалимского монастыря. Секрет подобной устойчивости заключается не только в правильном выборе угла планировки, но и в особой чистоте обработки поверхности, которую можно назвать «архитектурной шлифовкой» — так чисто и ровно она сделана.

Русло канала изолировано глинистым экраном. Для болотных и подпочвенных вод оно играет роль плотины, в связи с чем за 48—50 лет произошли серьезные изменения режима болот в зоне влияния канала. Аномалии в строении болот хорошо заметны на фотомоделях местности.

Есть в Подмоскovie и старый канал, заброшенный более 100 лет назад. В наше время мало кто помнит, что Сенежское озеро — это искусственный водоем, созданный для питания канала. Работы по его прокладке начались в 1825 г. Он соединил реки Сестру и Истру. И хотя длина прорытой части составила лишь 9 км, канал насчитывал 41 каменный шлюз с подпором 2 м каждый. В 1860 г. канал был заброшен, и теперь почти невозможно представить, что по его узким заросшим протокам когда-то ходили баржи водоизмещением 35 т.

Промышленно-индустриальные ПТС (комплексы), еще недавно тяготевшие к городам региона, теперь все чаще выводятся за их пределы. Все больше встречается крупных заводских комплексов, в которых селитебные зоны, управ-

ленческие службы, складские и вспомогательные хозяйства сосредоточены вокруг базового производства. Структура размещения промышленности Подмоскovie по основным транспортным магистралям отличается постепенным рассредоточением фабрик и заводов по мере удаления от Москвы.

По своему назначению рассматриваемые системы делятся на энергетические, топливные, черной и цветной металлургии, химической (в том числе нефтехимической) промышленности, машиностроительные, металло- и деревообрабатывающие, целлюлозно-бумажной промышленности, строительных материалов, легкой и пищевой промышленности.

Влияние этих ПТС на геологическую среду различно. И сегодня загрязнение окружающей среды в пересчете на единицу выпускаемой продукции больше на мелких предприятиях, где безотходная технология или замкнутый цикл водопользования внедряется труднее, чем на крупных индустриальных комплексах.

Зона воздействия промышленного производства достигает 3 км и более. Автотранспорт сильно загрязняет почвы свинцовыми соединениями, которые фиксируются на расстоянии 100 м вдоль дорожного полотна.

Промышленные предприятия в ряде случаев «вросли» в структуру городов или стали центрами, вокруг которых сформировались жилые поселки городского типа, поэтому рассматривать их приходится как часть сложного урбанизационно-промышленного комплекса. Наибольшей сложностью структуры отличается Москва, где размещены крупные промышленные предприятия.

Московский регион можно рассматривать как городскую агломерацию с Москвой в качестве центра—ядра, от которого лучами разбегаются транспортные магистрали. Вдоль этих магистралей группируются промышленные и городские комплексы, поселки с кварталами городского типа.

Если проследить рост ядра агломерации, Москвы, то он, по удачному определению архитекторов, шел по принципу «растекания масляного пятна». При этом, если в начале XX в. площадь города с населением 1 млн. 854 тыс. чел. составляла 17,7 тыс. га, то в середине 1980-х гг. она увеличилась более чем в 5 раз, а число жителей столицы приближается к 9 млн. чел.

Вокруг Москвы предусмотрена обширнейшая лесопарковая зеленая зона, в которую вкраплены дачные поселки, деревни и города. Но вместе с ростом жилого и промышленного фонда Москвы усложнялась ее инфраструктура, приобретая черты урбанизированного комплекса, где массивы лесов перешли на положение островов в кольце селитебно-промышленных ландшафтов.

Многие подмосковные города и поселки (например, Калининград и Мытищи) фактически слились. Их административные

границы пришли со временем в несоответствие с фактической застройкой или с географическими границами города. В сельской местности все чаще можно встретить многоэтажные дома городского типа, и даже архитектура подмосковных селений все больше тяготеет к поквартальной городской застройке.

Город — это не только сумма строений с промышленным вкраплением, но и густая сеть подземных коммуникаций. По трубам канализации Москвы течет, по сути дела, средней крупности река. Столичная служба быта насчитывает несколько тысяч предприятий, которые в совокупности оказывают на среду не меньшее влияние, чем большой завод.

Город существенно преобразует литосферу и климат, способствует созданию постоянных тепловых, шумовых и других наведенных геофизических полей. Именно здесь формируется контазона со своими полуприродными-полутехническими условиями функционирования и развития.

Город и промышленность — мощнейшие источники загрязнения геологической среды, что подтверждает анализ почв пойменных территорий ниже городов. В границах промышленных зон слабокислая реакция речных вод нередко сменяется слабощелочной. Может увеличиваться также концентрация ряда элементов. В общей сложности города и промышленные комплексы занимают около 15 % рассматриваемой территории.

Горнодобывающие ПТС рассредоточены по всему Московскому региону. За исключением крупных месторождений фосфоритов на междуречье Оки, Москвы и Цны, площадь которых превышает 300 км<sup>2</sup>, торфоразработок и мест добычи известняков и песчаников, значительная часть карьерной добычи происходит на сравнительно небольших участках.

По всему Подмосковию разбросаны тысячи в большинстве своем неучтенных небольших карьеров и котлованов по добыче гравия, песка и глины, различающихся степенью нарушенности ландшафта. Бывает уже трудно найти следы старой интенсивной добычи материалов, известной теперь по историческим документам: например, карьеры по добыче песка для первых стекольных заводов России, в XVII в. существовавшие на берегах р. Москвы в районе Ленинских (Воробьевых) гор. Вместе с тем в «памяти» современных ландшафтов сохранились следы древнейших (возможно, еще XII в.) каменоломен на берегах рек Москвы и Пахры вблизи Звенигорода, у сел Остров, Мячково (заложены в XV в.) и в ряде других мест.

В настоящее время работы ведутся на Люберецком и Егновском месторождениях (верхнеюрские и нижнемеловые пески), Чулковском, Дзержинском, Луховицком, Котельническом, Перхуровском, Великодворском, Кореневском, Лужниковском, Обуховском, Первомайском, Малинском, Мухинском, Самаровском, Харловском, Восточно-Харловском, Долматовском, Зеленослободском и Лопаснинском карьерах (формовочные пески и пески для силикатного кирпича — аллювиальные четвертичные

и дочетвертичные отложения), Голычинском, Рождественском, Рыбацком, Аксаковском, Хестовском, Румянцевском, Дурьинском, Икшинском и Дмитровском месторождениях на террасах рек Клязьмы, Учи, Черной и др. (строительная смесь), Хотьковском (трепел), Коробчеевском, Лишняговском, Курбатовском и Шуровском месторождениях по долинам Оки, Протвы, Нары, Лопасни и Пахры вблизи Ногинска, Щелкова, Серпухова, Каширы, Ступина, Воскресенска, Тучкова, сел Гжели, Русавкино и Буньково (известняки, глины). На небольших месторождениях ведется добыча «цветных земель» — глинистой и карбонатной охры, сиены, фосфорнокислого железа, ожелезненных бурых углей (в пойме Вори, вблизи сел Курово, Хотьково и Тучково).

Наибольшая пораженность территории горными выработками отмечается вблизи Москвы и южнее нее. Это имеет историческое объяснение: она связана со строительством Москвы и Коломны, а также с уменьшением к югу мощности четвертичных отложений и близким к поверхности залеганием строительного камня.

Современный облик многих ландшафтов связан со снятием торфа на обширнейших площадях севера и востока региона. Всего в Московской области разведано более 1700 месторождений торфа, добыча которого ведется здесь с конца XVIII в. А с 1870-х гг., с начала работы Никоновской мануфактуры, стал применяться механизированный способ его добычи — разжижения и транспортировки. Примерно 20 % территории Мещеры в границах Московской области и 12 % Верхневолжской низины занимают торфяные месторождения, в основном уже отработанные (рис. 18).

Примерно 23 тыс. га бывших торфоразработок освоены, и земли отошли под сельское хозяйство, садовые участки или застроены, а 35 тыс. га вошли в зоны рекультивации и восстановления природных ресурсов. К 2000 г., по имеющимся прогнозам, торфяные ресурсы области значительно сократятся.

Степень нарушенности земель во многом зависит от способов добычи торфа. И если в настоящее время добыча осуществляется исключительно фрейзерным (щадящим природу) способом, то до середины 1950-х гг. преобладали гидравлические и багерные (экскаваторные) методы торфоразработок, с помощью которых отработано примерно 30 % месторождений.

При гидравлическом способе торф размывается мощной струей воды в «ячейках» размером  $30 \times 125$  или  $60 \times 220$  м. Разжижаемая масса (пульпа) транспортируется на поля сушки (стилки). Отсюда торф идет потребителю. Между «ячейками» размыва сохраняется перемычка шириной около 4 м. После отработки месторождения гидравлическим способом остаются наиболее трудно восстанавливаемые земли, для которых характерны сильная обводненность, сложный микрорельеф, вскрытые пески и полуозера-полуболота.

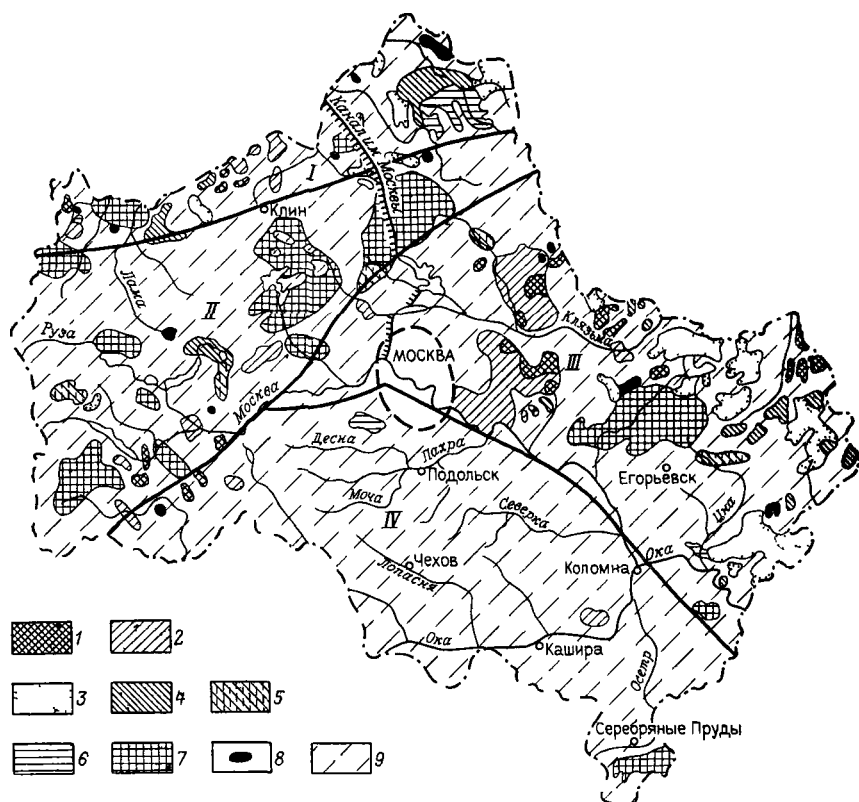


Рис 18 Карта торфяных массивов Московского региона

1 — выработанные торфяные массивы 2 — участки мелких выработанных месторождений торфа 3 — разрабатываемые торфяные массивы 4 5 — торфяники — объекты природоохранной деятельности в том числе мелкие (5), 6 7 — торфяники не принятые к разработке (мелкоконтурные, мелкозалежные), в том числе мелкие (7) (мелкоконтурные 8 — торфяные месторождения и массивы намечаемые к разработке, 9 — территории, не имеющие торфяных месторождений I—IV — районы развития торфяных залежей I — широкого площадного, II — широкого площадного и локального, III — локального, с отдельными крупными массивами, IV — локального

Багерный способ предусматривает экскавацию торфа. Карьеры имеют ширину 3—6 м и длину 800 м и более. Здесь нарушения микрорельефа, гидрологических и гидрогеологических условий также немалые, хотя остаточная обводненность отработанных участков несравненно меньше, чем при гидравлической добыче.

При фрейзерной отработке за один цикл фрейзерования снимается слой торфа толщиной 10—11 мм. Карты, или «ячейки», разработки имеют площадь 1—2 га. Все месторождение через каждые 20—40 м рассечено дренажными, картовыми канавами, из которых вода поступает в глубокие валовые каналы, расстояние между которыми 500 м. Эти участки достаточно легко рекультивируются, на них хорошо приживается сосна, но они требуют тщательного, нередко принудительного дренирования.

Кроме того, можно выделить участки старых разработок торфа ручным способом, но роль их в региональном техногенезе среды очень незначительна.

Торфоразработки оставили после себя огромнейшие площади «геологических» неудобий (только фрейзерной добычей нарушено 62,6 тыс. га). Их использование не всегда идет по плану, а рекультивация и лесопосадки часто не дают ожидаемых результатов. На значительной части земель наблюдаются процессы саморазвития ландшафта от стадии резкой нарушенности до стадии спонтанного развития в новых геолого-гидрогеологических условиях.

Несмотря на активнейшее внедрение на предприятиях прогрессивных способов безотходной технологии, проблему складирования, захоронения или переработки промышленных и бытовых отходов рано снимать с повестки дня. Сейчас в Москве действует несколько заводов по переработке отходов, число их будет увеличиваться. Тем не менее в настоящее время переработать все отходы города не удастся, ведь только бытовая их часть составляет 17 млн. м<sup>3</sup> в год. В 1986 г. область насчитывала 125 свалок, общей площадью 370 га. Ежегодно под свалки дополнительно отводится около 25 га земель, из них примерно половина — сельскохозяйственных. Но дело не только и не столько в потерях земель, сколько в загрязняющем воздействии свалок. Обследование крупных свалок показало, что они влияют буквально на все компоненты ландшафта. Так, физические свойства грунтов изменяются в радиусе 20—50 м, в радиусе до 1 км снижается плодородие земель. Вообще влияние на растительность ощущалось на расстоянии до 3 км от свалки. В радиусе 0,5 км загрязнены подземные воды, запах гниения ощущается в 1,5—2 км от свалки, а дым от возгораний на ней может распространяться на 20 км.

Кроме свалок на территории области рассредоточено много крупных хранилищ химических удобрений, сооружений биологической очистки стоков, не всегда удовлетворительно работающих.

Энергетические транспортные коммуникации сливаются с ПТС городов и промышленных узлов. Вместе с тем их сеть существует как бы автономно, отличаясь своеобразным радиально-центробежным рисунком. Если сюда добавить старые, ныне заброшенные дороги, то сеть коммуникаций станет плотнее в 1,5 раза.

Отдельно нужно остановиться на отборе подземных вод, существенно нарушающем их режим. На территории области действует большое число групповых водозаборов и одиночных скважин, отбирающих не один миллион кубических метров воды в сутки. Объемы отбора подземных вод заметно растут.

Итак, выше приведена характеристика основных типов ПТС Московского региона, их структуры и особенностей воздействия на среду. Даже такой сжатый обзор позволяет представить тер-

риторию области в виде сложнейшего переплетения промышленных, сельскохозяйственных и городских ПТС, территориально разобщенных и сливающихся, близких к закрытым и свободно обменивающимся энергией системам.

### 2.3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ТИПОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ

Согласно общей схеме инженерно-геологического районирования Русской платформы, территория Московской области входит в состав инженерно-геологического региона второго порядка — Московской синеклизы, располагаясь на ее южном склоне. Здесь выделяют пять крупных инженерно-геологических областей, различающихся по направленности и характеру неотектонических движений, рельефу, строению и мощности четвертичных отложений.

На севере региона находится Верхневолжская зандровая равнина, пологоволнистая, местами плоская и заболоченная (рис. 19). Геологический разрез равнины характеризуется широким развитием московских флювиогляциальных песчаных отложений, залегающих на плотных выдержанных по простирацию московских моренных суглинках. Глубокие погребенные долины выполнены ледниковыми и флювиогляциальными отложениями. Водоупор из юрских отложений в древних переуглубленных долинах размыт.

Выдержанный региональный келловей-оксфордский глинистый водоупор на большей части территории области разделяет осадочный чехол на два водоносных комплекса, различающихся своими гидрогеологическими параметрами. Там, где водоупор отсутствует, водоносные горизонты мезо-кайнозойского и каменноугольного комплексов гидравлически связаны между собой. Грунтовые воды во флювиогляциальных и аллювиальных песчаных отложениях встречаются на глубине от 0,1 до 5 м. Широко развитые в области болотные отложения нередко обводнены.

Более однообразна Мещерская аллювиально-зандровая равнина, занимающая восточную окраину Московского региона (см. рис. 19). Западная часть ее с позднего плицена испытывает умеренное поднятие. Остальная территория в позднечетвертичное и голоценовое время испытала опускание. По характеру рельефа это низменная плоская, слаборасчлененная равнина с широкими долинами, болотами и торфяниками.

В геологическом разрезе равнины преимущественно распространены песчаные аллювиальные и флювиогляциальные отложения, залегающие на днепровских моренных слабопроницаемых суглинках, песчаных отложениях верхней юры и нижнего мела или верхнеюрских глинах.

Грунтовые воды песчаных отложений находятся вблизи поверхности на глубине от 1 до 7 м. Водоносные горизонты мезо-кайнозойского комплекса гидравлически связаны друг с другом.

На юге Мещерской равнины, в долине Оки, возможна связь этих вод с напорными водами каменноугольных отложений.

Инженерно-геоэкологические условия здесь во многом определяются такими процессами как заболачивание, евтрофикация, развевание песков и торфа.

Смоленско-Московская моренно-эрозионная возвышенность по характеру неотектонических движений делится на две подобласти (см. рис. 19). Западная часть возвышенности в позднечетвертичное и голоценовое время испытала относительное опускание. Это слаборасчлененная, местами пологохолмистая равнина, в строении которой преобладают плотные слабопроницаемые московские моренные суглинки, перекрытые с поверхности покровными суглинками. Суммарная мощность четвертичных отложений колеблется здесь от 50 до 100 м. В большинстве случаев они залегают прямо на среднекаменноугольных карбонатных отложениях.

Широкое развитие получили верховодка и воды, спорадически распространенные на разной глубине в песчаных линзах и прослоях морен. Местами они обладают небольшим напором. Возможна гидравлическая связь этих вод с водами каменноугольных отложений. Инженерно-геоэкологические условия здесь довольно спокойные.

Вся остальная территория Смоленско-Московской моренно-эрозионной возвышенности с позднего олигоцена была охвачена умеренным поднятием. Она имеет крутой северный склон высотой до 80 м, расчлененный глубокими речными долинами, оврагами и балками.

В геологическом разрезе четко выделяются два горизонта московских и днепровских моренных суглинков, местами разделенных флювиогляциальными песками (см. рис. 19). На поверхности находится слой покровных суглинков. Суммарная мощность четвертичных отложений колеблется от 20 до 50 м, снижаясь над погребенными водоразделами до 10 м. Практически повсеместно развиты юрские глины, а на северо-востоке области сохранились песчаные и песчано-глинистые породы мелового возраста, а также верхнемеловые опоки и трепелы мощностью до 40 м. Каменноугольные водоносные горизонты здесь довольно надежно изолированы. Преобладают процессы овражной эрозии и оползни.

Для Москворецко-Окской пологоувалистой эрозионной равнины типичны умеренные поднятия, начавшиеся в позднем олигоцене. Это пологоволнистая, холмистая равнина, расчлененная балками и оврагами. Неширокие долины рек глубоко врезаны и имеют две-три надпойменные террасы.

Повсеместно развиты плотные слабопроницаемые днепровские моренные суглинки, местами перекрытые флювиогляциальными отложениями. Московские моренные суглинки сохранились лишь на севере области. По водоразделам развиты покровные суглинки. Мощность четвертичных отложений составля-



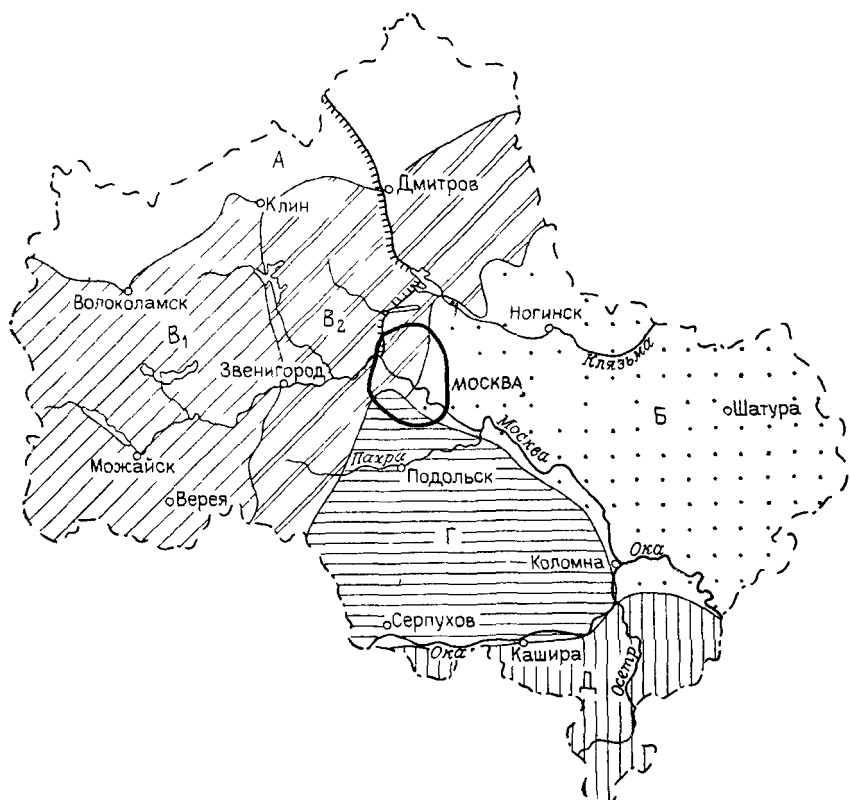
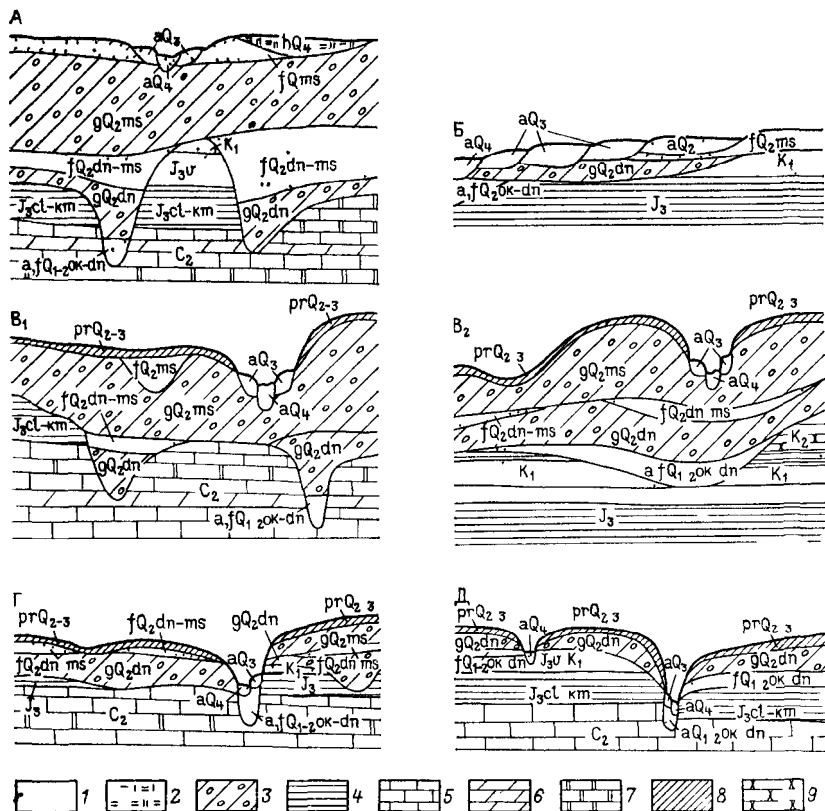


Рис 19 Карта инженерно геологических областей и типовые разрезы Мос  
 А — Верхневолжская заиловская равнина Б — Мещерская заиловская аллювиальная рав-  
 ладания относительно опускания в позднечетвертичное и голоценовое время В —  
 эрозонная равнина Д — Заокское эрозонное плато 1 — пески 2 — торф 3 — суглинки  
 4 — суглинки 5 — суглинки 6 — суглинки 7 — суглинки 8 — суглинки 9 — песчанки

ет примерно 15 м Они залегают на юрских глинах, а по долинам крупных рек — на породах карбона

Гидрогеологические условия области отличаются развитием верховодки и вод спорадического распространения В долинах рек отмечается гидравлическая связь четвертичных и каменноугольных водоносных горизонтов Инженерно-геоэкологическую обстановку осложняют карстовые процессы и оползни

Заокское эрозонное плато находится на юге региона (см рис 19) С позднего олигоцена оно испытывает устойчивое умеренное поднятие Это довольно высокое расчлененное плато, сложенное преимущественно днепровскими слабопроницаемыми моренными суглинками небольшой мощности (до 10 м) при повсеместном развитии покровных суглинков Закарстованные карбонатные породы каменноугольного возраста залегают вблизи дневной поверхности, а по долинам рек — непосредственно под четвертичными отложениями



ковского региона

нна В — Смоленско-Московская моренная возвышенная равнина (В<sub>1</sub> — область преоб-  
ласть умеренных поднятий с позднего ольгоцена) I Москворецко-Окская моренно-  
валунные 4 — глины 5 — известняки 6 — доломиты 7 — известняки доломитизирован

Водоносные горизонты карбона здесь защищены от загрязнения с поверхности слабо. С этим, а также с карстовыми процессами связана сложность инженерно-геоэкологических условий.

Рассмотрим теперь более детальное типологическое районирование территории региона по геолого-литологическим признакам строения. При этом четвертичные и дочетвертичные породы классифицируются по типам строения отдельно. При сочетании тех и других вариантов получают сложные типы геолого-литологического строения толщи на всю глубину активного техногенеза.

Наиболее сложной является группа типов строения дочетвертичных отложений, которые начинаются с меловых пород. Опки и трепелы сантонского возраста с маломощными прослоями глин, песчаников и песков, венчающих типовой разрез, приближаются по прочности к породам с жесткими кристаллическими

скими связями, а при водонасыщении приобретают свойства пластичных отложений. При пористости трепелов 55—65 % их прочность на сжатие в сухом состоянии составляет 7—10 МПа, а во влажном — менее 1 МПа. Высокая (до 45 %) пористость характерна для опок, прочность которых также сильно снижается при водонасыщении. Песчаники в толще опок и трепелов в основном тонко- и мелкозернистые кварцево-глауконитовые с цементом контактового, реже базального типа. Иногда опоки и трепелы подстилаются опокovidными песчаниками или глинами туронского возраста мощностью до 7 м.

Чаще опоки и трепелы сантона мощностью до 15 м залегают на кварцевых и глауконито-кварцевых тонко- и мелкозернистых песках сеномана.

Трещиноватые отложения сантона обводнены. Коэффициент фильтрации этих пород достигает 6 м/сут. Воды напорные и залегают на глубине 10—40 м. Напор изменяется от 0 до 10 м. Иногда отмечается гидравлическая связь вод сантонского и сеноман-альбского водоносных горизонтов.

По погребенным водоразделам на востоке Смоленско-Московской возвышенности под 40—50-метровым слоем четвертичных отложений вскрываются плотные парамоновские глины альбского яруса нижнего мела, мощность которых достигает 50 м и более. Эти гидрослюдисто-бейделлитовые дисперсные и высокопластичные глины местами замещаются кварцево-глауконитовыми песками. Те же пески слагают низы альбского яруса, сливаясь с песчаными верхнеюрскими отложениями. Общая мощность отложений составляет 40—50 м. Воды нижнемеловых отложений имеют два водоупора: верхний образуют парамоновские глины, нижний — келловей-кимериджские. Коэффициент фильтрации глинистых и мелкозернистых песков составляет 0,8—2,5 м/сут. Воды напорные (до 50 м), что обуславливает угрозу прорыва их в подземные выработки. Нижним водоупором для обводненных песков служат выдержанные по простиранию верхнеюрские глины.

В центральной части региона рассматриваемый тип строения дочетвертичных отложений наблюдается почти повсеместно, за исключением погребенных доледниковых долин. В отличие от Клинско-Дмитровской гряды, где под четвертичными отложениями почти везде залегают нижнемеловые пески, здесь преобладают песчаные толщи верхней юры. Отложения нижнего мела сохранились в виде останцов (мощность 10—25 м), и лишь на Теплостанской возвышенности суммарная мощность нижнемеловых отложений возрастает до 70 м. Глубина залегания песчаной толщи мезозоя вблизи Москвы составляет 10—20 м, увеличиваясь к западу (район оз. Тростенское) до 100 м и более.

Региональный водоупор также неоднороден по составу. Нижневожские глины отличает подверженность пластичным деформациям, причем некоторые разности могут переходить в плы-

вунное состояние. Ниже залегают плотные келловей-кимериджские глины верхней юры мощностью 10—60 м.

Южнее р. Пахры нижнемеловые песчаные отложения сохранились на высоких участках междуречий притоков рек Оки и Москвы. Мощность песчаных отложений мезозоя здесь колеблется от 5 до 35 м. Пески мелко- и тонкозернистые с содержанием глинистых частиц до 29 %. Плотность песков в рыхлом состоянии составляет 1,13—1,35 г/см<sup>3</sup>, в плотном — 1,52—1,83 г/см<sup>3</sup>. Угол естественного откоса под водой изменяется от 27 до 30°, а в сухом — от 32 до 39°. Коэффициент фильтрации их колеблется от 0,001 до 12,8 м/сут. Прочность на сжатие составляет 0,1—0,2 МПа.

По речным долинам мезозойские пески обводнены (коэффициент фильтрации 0,25—0,6 м/сут). Воды, как правило, свободно сообщаются с вышележащим горизонтом. Там, где на мезозойских песках залегают моренные суглинки, возникает местный напор.

Другая группа типов строения дочетвертичных отложений характеризуется тем, что в них присутствуют породы юры, с которых и начинаются все типовые разрезы. В большинстве случаев в кровле разреза присутствуют широко распространенные в регионе келловей-оксфордские серые и черные глины, известковистые, плотные и пластичные (число пластичности достигает 43 %) с гнездами и прослоями песков и алевролитов. Мощность их 20—40 м, в доюрских ложбинах она увеличивается до 60 м. Верхнеюрские глины являются региональным водоупором, изолирующим водоносные горизонты мезо-кайнозойского комплекса от водоносных горизонтов карбона и предохраняющим глубокие горизонты от загрязнения. Глубина залегания их в пределах Верхневолжской равнины составляет 30—50 м, а в доледниковых долинах достигает 90 м.

Местами в эрозионных ложбинах доюрского рельефа под глинами залегают континентальные средне- и верхнеюрские пески мощностью до 40 м и более.

Этот обособленный тип строения дочетвертичных толщ занимает значительные площади в пределах Мещерской равнины, где он выделяется по древним погребенным водоразделам и их склонам, а также по древним доледниковым долинам. Юрские глины могут залегать и под аллювием в современных речных долинах.

В бат-келловейских разнотернистых песках, подстилающих толщу глин, встречаются напорные (1—5 м) воды. Развита они спорадически на глубинах от 5 до 25 м. Эти пески могут иметь характер плывунов, что заметно усложняет инженерно-геоэкологические условия в тех случаях, когда они залегают вблизи поверхности. Глубина залегания коренных пород составляет в среднем 8—10 м, а в погребенных долинах увеличивается до 50 м.

На всей остальной территории Московского региона рассматриваемый тип строения прослеживается в основном на склонах древних погребенных долин.

И, наконец, последняя группа типов строения коренных пород Московского региона отличается тем, что все типовые разрезы этой группы начинаются с отложений доюрского возраста в основном карбонатного состава.

На севере Московской области, в пределах Верхневолжской заливной равнины, под четвертичными отложениями отмечаются выходы терригенных пород позднепермско-раннетриасового возраста и карбонатных пород позднего карбона — ранней перми (ассельский ярус), где они слагают ложе и склоны древних доледниковых долин. Для доломитов карбона характерна сильная загипсованность. Выше лежащие пермские отложения мощностью до 20 м представлены монотонной толщей мелко- и тонкокристаллических доломитов, верхняя часть которых сильно преобразована выветриванием, с гнездами кремней, кавернами и карстовыми пустотами. Коэффициент фильтрации пород в зависимости от степени их трещиноватости и закарстованности изменяется от 1 до 64 м/сут. Подземные воды, приуроченные к этим отложениям, обладают напором, величина которого достигает 100 м и более.

Доюрские карбонатные и терригенные породы в погребенных долинах залегают на большой глубине (от 70 до 130 м). В пределах Верхневолжской низменной равнины днища и борта древних эрозионных ложбин сложены верхнекаменноугольными известняками и доломитами с прослоями пестроокрашенных глин и плотных мергелей. Известняки и доломиты крепкие, но пористые и кавернозные, местами сильно трещиноватые, участками закарстованные. Каверны выполнены кристаллическим кальцитом. Напорный водоносный горизонт этой толщи характеризуется высокой водообильностью: коэффициент фильтрации трещиноватых известняков и доломитов колеблется в пределах 2,4—10 м/сут, а водопроницаемость изменяется от 400 до 1000 м<sup>2</sup>/сут. Этот горизонт в пределах района гидравлически связан с водоносными горизонтами четвертичных отложений.

На территории Мещеры верхнекаменноугольные карбонатные породы чаще всего залегают вблизи поверхности и перекрыты маломощной (менее 10 м) толщей четвертичных осадков. Только на участках глубоких доледниковых долин карбонатные породы могут залегать на глубинах до 50 м.

Верхнекаменноугольные отложения на востоке Московской области представлены породами гжельского яруса — чередованием карбонатных и глинисто-мергелистых пачек. Карбонатные пачки мощностью от 2 до 30 м сложены известняками и доломитами с тонкими прослоями глин. Известняки плотные, крепкие, в различной степени доломитизированные. Доломиты скрытокристаллические, глинистые. Глинистые пачки мощностью 2—

7 м образованы пестроцветными глинами и мергелями с тонкими прослоями известняков. Глины плотные, вязкие.

Местами в доюрских долинах на известняках залегают баткелловейские разнородные глинистые пески с галькой кварца, мощностью от 10 до 30 м. Пески спорадически обводнены и в отдельных случаях имеют характер пльвунов.

Известняки также обводнены. Выделяют два напорных водоносных горизонта, разделенные щелковской толщей пестроцветных глин мощностью до 20 м. Пьезометрический уровень верхнегжельского водоносного горизонта располагается на глубинах 5—10 м. Притоки воды из амерьевской толщи составляют 0,76 м<sup>3</sup>/ч на 1 км<sup>2</sup> площади. Пьезометрический уровень нижнегжельского горизонта располагается в основном на глубинах 10—30 м. Воды его часто связаны с горизонтами среднего карбона. Воды верхнегжельского, а местами и нижнегжельского горизонтов имеют связь с водоносными горизонтами четвертичных отложений. В целом известняки (кревьякинские слои) обладают высоким сопротивлением сжатию (34—35 МПа); водопоглощение их составляет 4,5—5 %; породы неморозостойкие.

По всему разрезу верхнего карбона встречаются зоны дробления, представленные щебнем, дресвой и доломитовой мукой, залегающими в виде линз мощностью от первых десятков сантиметров до первых метров. Вся западная часть Московской области (западнее линии Наро-Фоминск — Руза — Волоколамск) характеризуется площадным развитием на глубинах 30—70 м (местами до 120 м) пород московского яруса среднего карбона. Поверхность этих пород интенсивно расчленена крупными древними долинами рек, глубина вреза которых достигает 60 м (минимальные абсолютные отметки 120—110 м). Древние погребенные водоразделы имеют абсолютные отметки 160—190 м (местами до 200 м и более). Очень редко в доюрских эрозионных ложбинах на породах карбона залегают маломощные песчаные отложения баткелловей. В разрезе карбона севернее долины р. Москвы преобладают органогенно-детритовые (реже доломитизированные) известняки, пористые, кавернозные, с прослоями тонкозернистых доломитов и редкими прослоями мергелей (мячковский и подольский горизонты). Породы трещиноватые, местами слабо закарстованные. Трещины самой различной ориентации, шириной от долей миллиметра до 3 см, местами зияющие, иногда выполненные кристаллами кальцита. Коэффициент фильтрации пород колеблется от 0,3 до 67 м/сут (в среднем 6—46 м/сут). В долине р. Москвы и южнее ее карбонатная толща представлена переслаиванием доломитов, доломитизированных известняков, известняков, мергелей и, в меньшей степени, пестроцветных глин (каширский горизонт). Доломиты белые, скрытокристаллические, твердые, иногда мучнистые. Мощность доломитовых прослоев изменяется от 6 до 8 м, плотных мергелей — от 0,1 до 4 м. Известняки глинистые, часто доломитизированные, реже органогенно-детритовые, трещиноватые,

суммарная мощность их составляет 15—17 м. Общая мощность пород среднего карбона обычно изменяется от 60 до 110 м, уменьшаясь к югу до нескольких метров в долине Колочи до 10 м в долине Протвы. Подстилаются они выдержанным горизонтом верейских глин мощностью 18—20 м (редко до 30 м).

Карбонатные породы среднего карбона водоносны. Водообильность горизонта зависит от степени трещиноватости и закарстованности пород и, как правило, высокая.

Каширский горизонт характеризуется высокой водообильностью только там, где трещиноватые известняки и доломиты не содержат прослоев глин и мергелей и имеют мощность 3—5 м и более. Нижним водоупором служит толща верейских глин, а верхним — моренные суглинки. Севернее долины р. Москвы на каширских отложениях лежат подольские и мячковские известняки. На юго-востоке (в районе Наро-Фоминска) они образуют единый водоносный горизонт. Воды каширского горизонта напорные; напор колеблется от 16 до 69 м.

Четвертичные отложения, имеющие, как правило, здесь большие мощности, обычно предохраняют породы среднего карбона от инженерно-хозяйственного воздействия. Проявления на поверхности карстовых процессов известны только на локальных участках в долинах рек Протва (выше Вереи), Москва (ниже с. Красный Стан) и Нара (д. Романово), где мощности четвертичных отложений значительно сокращаются.

Несколько иные инженерно-геологические условия наблюдаются на юге Московской области в пределах Москворецко-Окской эрозионной равнины на левом берегу Оки севернее и восточнее Серпухова. Здесь большие площади древних водоразделов и склонов заняты среднекаменноугольными известняками и доломитами общей мощностью от 100 м на севере района до 20 м вблизи долины Оки, залегающими на глубине от нескольких до 20 м. Коралловые крупнообломочные известняки мячковского горизонта, кавернозные и неравномерно доломитизированные, отличаются сильной изменчивостью (прочность в сухом состоянии колеблется от 20 до 108 МПа).

Известняки подольского горизонта (бассейн рек Мочи и Лопасни) характеризуются высокой пористостью (27,5—29 %) и большим водопоглощением (5—10 %). Прочность их в сухом состоянии составляет 21—39 МПа, при водонасыщении и после замораживания она уменьшается (10—21 и 13—30 МПа соответственно). Примерно такими же характеристиками обладают и каширские известняки, прочность которых в сухом состоянии изменяется от 23 до 67 МПа. Подстилаются они выдержанным по простиранию горизонтом верейских глин мощностью не более 30 м. Мощность отложений резко возрастает по прослеживаемой в районе Серпухова древней доверейской погребенной долине глубиной до 176 м и шириной 2—3 км. Отложения, vyplняющие эту долину (азовская толща), представлены конти-

нентальными фациями: разнозернистыми глинистыми песками, глинистыми алевролитами и глинами.

В центральной и южной частях Московской области карбонатные породы среднекаменноугольного возраста залегают под четвертичными отложениями в днищах и бортах погребенных доледниковых долин на глубине от 40 до 80 м (на отдельных участках (д. Алтухово) до 140 м). Кровля их имеет абсолютные отметки 72—140 м. Эрозионные врезы прослеживаются в бассейнах рек Москвы (районы Звенигорода, Рублево, ниже Люблино), Пахры, Северки, Каширки, Осетка, Мочи и Оки.

Породы обладают высокой прочностью. Наиболее низкими значениями сцепления (3—4 МПа) отличаются известняки с крупно- и грубодетритовой структурой. Значительное снижение прочности при увлажнении отмечается у глинистых разностей карбонатных пород. Небольшой прочностью обладают высокопористые органогенно-детритовые известняки.

На отдельных участках современных речных долин карбонатные породы среднего карбона залегают на небольшой глубине под аллювиальными песчаными отложениями речных террас, с чем связано развитие карста в долине р. Москвы выше Коломны и гидравлическая взаимосвязь карбонатовых и аллювиальных водоносных горизонтов.

Крупная доледниковая долина, унаследованная современной Окой, прослеживается на юге Московской области. Глубина ее вреза относительно древних дочетвертичных водоразделов превышает 100 м. Протвинские отложения здесь частично размыты, и в днище доледниковой долины на глубинах 40—60 м залегают отложения визейского яруса, представленные преимущественно известняками с невыдержанными прослоями глин и мергелей. Абсолютные отметки кровли нижнекаменноугольных отложений — менее 80 м.

К выходу верейских глин на склонах долины Оки (правый берег) и ее правых притоков приурочены глубокие оползни.

Коренные породы в Московском регионе почти повсеместно, за исключением крутых склонов речных долин, перекрыты толщей четвертичных отложений, в которой также можно выделить большое число элементарных типологических разрезов, характеризующих типы строения четвертичной кровли геологической среды.

Инженерно-геоэкологические условия территории зависят от многих факторов, и в значительной мере от того, какие отложения открывают типовой геологический разрез. На юге Московской области преобладает группа типов строения четвертичной толщи, начинающихся с днепровских моренных суглинков, нередко перекрытых покровными суглинками. Морена днепровского ледника представлена красно- и коричневатобурыми грубыми несортированными и неслоистыми, сильно песчанистыми, плотными суглинками с большим содержанием гравия, гальки, щебня и валунов. Общая мощность суглинков изменяется от 1



до 38 м (обычно 5—8 м). Естественная влажность моренных суглинков 15—26 %; число пластичности 10—17 %; показатель консистенции составляет 0,03—0,46; набухание 2,7—15,4 %; модуль деформации колеблется от 4 до 12 МПа, а прочность — от 0,2 до 0,25 МПа.

Покровные суглинки светло- и буровато-коричневые или палево-желтые, тяжелые, алевролитистые, местами лёссовидные. По гранулометрическому составу суглинки неоднородны: содержание глинистой фракции колеблется от 6 до 58 %, а пылевой — от 11 до 74 %. Коэффициент пористости изменяется в широких пределах — от 0,57 до 0,99. Породы легко размокают. С лёссовидными суглинками на поверхности равнины связаны суффозионные просадки, имеющие в плане округлую форму. Мощность покровных суглинков изменяется от 1 до 14 м.

Днепровские моренные суглинки залегают на коренных породах, реже на ниже-среднечетвертичных песках окско-днепровского горизонта, мощность которых изменяется от 0,6—3,5 м на водоразделах до 25—30 м (местами до 70 м) в пределах древних долин. Плотность песков в предельно рыхлом состоянии составляет 1,06—1,53 г/см<sup>3</sup>, в предельно плотном — 1,6—1,85 г/см<sup>3</sup>; угол естественного откоса в сухом состоянии изменяется от 31 до 37°, под водой — от 28 до 32°; прочность 0,1—0,2 МПа.

На отдельных участках погребенных долин и их склонов под окско-днепровскими песками залегает окская морена мощностью 2—10 м, представленная грубопесчаными суглинками с включениями гравия, гальки и валунов.

Для этих типов строения характерно развитие верховодки, встречающейся на глубинах 0,2—5,9 м. Толща моренных суглинков обводнена спорадически. Первый от поверхности постоянный водоносный горизонт вскрыт на глубине 15—22 м в окско-днепровских песках. Коэффициент фильтрации песков в зависимости от их зернистости, по данным опытных откачек, колеблется от 0,3 до 35,5 м/сут. Местами воды имеют напор. Там, где флювиогляциальные отложения залегают на карбонатных породах карбона, грунтовые воды гидравлически связаны с глубокими водоносными горизонтами.

В южной части Московской области в бассейнах Нары, Северки и Осетра под толщей четвертичных осадков встречаются древние донегеновые врезы, выполненные континентальными (преимущественно аллювиальными) отложениями — кварцевыми песками, от мелко- до крупнозернистых, иногда глинистыми, местами с линзами и тонкими прослоями суглинков и глин общей мощностью 25—45 м.

На Мещерской аллювиально-зандровой равнине днепровская морена слагает цоколи высоких террас по долинам Москвы-реки, Нерской, Клязьмы, Поли, Цны и их притоков. Обычно подошва моренных суглинков находится на абсолютных отметках 120—140 м, а в древних долинах опускается до 90—100 м.

В среднем мощность ее составляет 3—5 м, увеличиваясь в отдельных случаях до 20 м.

Прослой и линзы песков (мощность до 2 м), заключенные в морене, обводнены. Глубина залегания окско-днепровского водоносного горизонта изменяется от 7 до 12 м. Вследствие мелкозернистого состава пески имеют пониженную водопроницаемость. Часто водоупорные глины в подошве горизонта отсутствуют, и воды окско-днепровского горизонта сообщаются с нижележащими напорными водами.

В центральной части Московской области эти типы строения четвертичных отложений встречаются в долинах рек Москвы, Яузы, Пахры и Десны.

Территория, где днепровские суглинки, перекрытые покровными суглинками, начинают разрез четвертичной толщи, в большинстве случаев отличается сильно и глубоко расчлененным рельефом. С этим связано широкое распространение здесь таких процессов и явлений как овражная эрозия и оползни. Мощность зоны аэрации составляет 5—10 м. Грунтовые воды, как правило, защищены от прямого загрязнения с поверхности, но эта защита легко может быть нарушена при вскрышных работах.

Другая группа типов строения четвертичных отложений обязана своим выделением моренным суглинкам московского возраста, представленным коричневыми и красно-бурыми плотными, массивными, известковистыми разностями, с щебнем, гравием, галькой и валунами, линзами алевритов и песков. По физико-механическим свойствам она аналогична днепровской морене, но ее отличают плотное сложение, низкая пористость и слабая сжимаемость. Мощность московской морены 10—20 м, в депрессиях она несколько увеличивается, а на водоразделах уменьшается.

Покровные отложения, нередко перекрывающие суглинки московской морены, представлены светло-коричневыми и серовато-желтыми, безвалунными, пористыми, неслоистыми, пылеватыми, слабо известковистыми суглинками (число пластичности 14—15 %), в составе которых преобладает алевритовая фракция (до 75 %). Пористость покровных отложений при естественной влажности составляет 36—38 %, мощность изменяется от 0,5 м до 7 м.

В зависимости от строения подстилающих московскую морену отложений можно выделить несколько типологических районов. На высоких современных водоразделах (северное Подмосковье) московская морена залегает непосредственно на коренных породах, а на западе Московской области в бассейнах Шоши, Лоби, Ламы, Рузы, верхнего течения рек Москвы и Протвы — на толще днепровских моренных суглинков.

Там, где пористые покровные суглинки, особенно их более песчанистые разности, подстилаются плотными слабопроницаемыми моренными суглинками, встречается верховодка, глубина

залегания которой обычно не превышает 2 м (от 0,2 до 3,5 м). Водообильность покровных суглинков незначительная. Коэффициент фильтрации опесчаненных разностей не превышает 1 м/сут. Нижележащая мощная толща моренных суглинков обводнена спорадически. Песчаные водоносные линзы залегают на глубинах 1—10 м. Воды обладают небольшим напором (от 2 до 8 м).

Из геологических процессов следует отметить овражную эрозию в верховьях некоторых рек, оползни в долинах рек и забо-лоченность замкнутых, слабо дренированных понижений на водоразделах. Мощность зоны аэрации здесь достаточно высокая (до 10 м и более).

Условия строительства в районе в целом благоприятны из-за довольно ровного рельефа, большой мощности моренных суглинков, которые являются надежным и прочным основанием сооружений, а также спокойной геодинамической обстановки.

В особую группу типологических инженерно-геологических районов объединены территории, где четвертичные отложения начинаются с аллювиальных или флювиогляциальных песков.

Флювиогляциальные отложения представлены кварцевыми песками, разнозернистыми, местами глинистыми, косослоистыми, с гравием, галькой и линзами суглинков и супесей. Мощность песков может достигать 35 м (в среднем 10—15 м). Породы обводнены. Воды обладают напором, величина которого колеблется от 2 до 30 м над кровлей водоносного горизонта, который может быть гидравлически связан с нижележащими водоносными горизонтами. Глубина залегания кровли водоносного горизонта колеблется от 2 до 40 м, а коэффициент фильтрации — от 0,7 м/сут для глинистых песков до 28 м/сут для гравелистых разностей. Мощность безводной зоны, включая московскую морену, изменяется от 3 до 10 м.

Очень широко распространен на всей территории Смоленско-Московской моренной равнины, а также в пределах Верхневолжской зандровой равнины тип строения четвертичных отложений, представленный двумя горизонтами моренных суглинков (московского и днепровского возраста), разделенных днепровско-московскими флювиогляциальными песками. Инженерно-геологические условия здесь определяются характером рельефа (на большей части территории относительно ровным); повсеместным развитием прочных московских моренных суглинков в основании наземных сооружений; наличием в межморенных песках напорного водоносного горизонта, гидравлически не связанного с нижележащими водоносными горизонтами; возможным образованием верховодки. Для районов, расположенных в пределах Верхневолжской зандровой равнины, следует учитывать также сильную забо́лоченность и слабую дренированность. Для данного типа разрезов четвертичных отложений характерны небольшие мощности зоны аэрации (до 5 м).

К древним дочетвертичным долинам приурочен следующий тип строения четвертичных отложений, отличающийся от предыдущего развитием в нижней части разреза окско-днепровских флювиогляциальных и аллювиальных отложений. Представлены они разнозернистыми песками (от тонко- до крупнозернистых, местами глинистыми), с включениями гравия и гальки. Мощность песков обычно составляет 5—10 м, по мере углубления долины она возрастает до 20 м (реже до 25 м).

Крупная погребенная долина, выполненная четвертичными отложениями, имеющими описанный выше тип строения, проходит через Смоленско-Московскую моренную равнину почти в меридиональном направлении, пересекая долину р. Нудоль, а южнее г. Клина совпадает с современной долиной р. Сестры или расположена параллельно ей. Абсолютные отметки днища долины с юга на север уменьшаются от 105 до 71 м, глубина вреза относительно древних водоразделов достигает 120 м. Общая мощность четвертичных отложений составляет здесь 120—160 м. На самом севере Московской области в этот инженерно-геологический район включена древняя погребенная долина пра-Дубны и ее притоков. Глубина относительно древних водоразделов изменяется от 80 до 90 м.

В окско-днепровских песках заключен водоносный горизонт, вскрываемый скважинами на глубинах от 16 до 70 м и почти повсеместно обладающий напором, высота которого в среднем около 25 м, но может достигать 40 м. Коэффициент фильтрации песков изменяется от 0,1 до 13,2 м/сут. На локальных участках возможна гидравлическая связь с нижележащими водоносными горизонтами.

На глубоких участках древних погребенных долин на глубине от 60 до 90 м под окско-днепровскими флювиогляциальными и аллювиальными отложениями сохранились окские моренные суглинки, как правило, тяжелые, с большим количеством гравия и мелкой гальки, редкими мелкими валунами. Мощность окской морены обычно незначительна (2—8 м, местами до 26 м).

В целом для этого типа строения четвертичной толщи характерно чередование трех горизонтов плотных моренных суглинков с флювиогляциальными песчаными отложениями, причем разрез начинается и заканчивается мореной.

Особый тип строения четвертичных отложений выделяется в современных речных долинах, где под песчаными отложениями речных террас залегают нерасчлененные флювиогляциальные и аллювиальные окско-днепровские, местами лихвинские отложения, выполняющие древние погребенные долины. Большие площади этот тип строения занимает в пределах Мещерской аллювиально-зандровой равнины в долинах Цны, Поли, Бужы и Ялмы, а также в долине пра-Оки. Среди окско-днепровских отложений, мощность которых может достигать 25 м, преобладают аллювиальные пески.

Данный тип строения четвертичных отложений прослеживается также под аллювием речных террас на локальных участках в долинах рек Яхромы (ниже Дмитрова), Москвы (ниже Звенигорода, на территории Москвы, в районе нижнего течения Гжелки) и в долине широтного отрезка Оки. Он наиболее часто попадает в зону воздействия гидротехнических сооружений. В связи с этим следует учитывать повышенную водообильность отдельных участков окско-днепровского горизонта, высокие значения коэффициента фильтрации крупнозернистых разностей (до 31 м/сут), наличие гидравлической связи с напорными водоносными горизонтами на участках отсутствия водупора, возможность фильтрации через дно водохранилища и примыкание плотины, а также повышенную фильтрацию из водохранилищ и незначительную мощность зоны аэрации (до 3 м).

К следующей крупной группе типов четвертичных разрезов отнесены такие толщи, где сверху залегают преимущественно днепровско-московские флювиогляциальные отложения. На Москворецко-Окской эрозионной равнине южнее долины Пахры, особенно на междуречье Северки и Оки, они почти сплошным плащом перекрывают все водоразделы. Мощность их может достигать 20 м и более. В то же время мощность зоны аэрации в пределах всех районов, входящих в эту группу, довольно стабильна и составляет 1,5—3 м.

Песчаные фации в составе флювиогляциальных отложений занимают подчиненное положение. В бассейнах Северки и Оки разрез днепровско-московских отложений носит отчетливо выраженное двухчленное строение. В нижней части развиты в основном тонкослоистые, плотные, известковистые глины мощностью от 1 до 10 м (в среднем 3—4 м). Верхняя часть разреза представлена алевроито-суглинистой пачкой мощностью 0,5—6 м (в среднем 2—4 м). Алевроиты и суглинки слоистые, тонкопесчанистые, часто известковистые. На междуречье Пахры и Северки мощность слоистых глин и суглинков колеблется в пределах 5—7 м, местами достигая 10 м. На отдельных участках они подстилаются разнозернистыми песками небольшой мощности.

В пределах Заокского эрозионного плато по правому берегу Оки днепровско-московские флювиогляциальные отложения занимают отдельные участки склонов водораздела. Реже они встречаются на самих водоразделах, где обычно представлены глинами или суглинками, плотными, вязкими, неравномерно опесчаненными, местами алевроитистыми, с редкими включениями гравия общей мощностью до 5 м. Разрезы пониженных участков сложены разнозернистыми песками.

Естественная влажность днепровско-московских глинистых пород колеблется от 16 до 30 %, коэффициент пористости составляет 0,6—0,8, а угол внутреннего трения — 23—24°. Модуль деформации суглинков изменяется от 5,5 до 11,5 МПа. Песча-

ные породы в предельно плотном состоянии имеют плотность 1,67 г/см<sup>3</sup>, в предельно рыхлом — 1,38 г/см<sup>3</sup>; угол естественного откоса в сухом состоянии составляет 29—35°, под водой — 23—35°. Коэффициент фильтрации в зависимости от зернистости колеблется от 0,1 до 26 м/сут.

К песчанистым разностям флювиогляциальных отложений приурочен безнапорный малообильный водоносный горизонт, залегающий на глубинах преимущественно от 1 до 4 м.

Геодинамическая обстановка в районах развития днепровско-московских флювиогляциальных отложений в основном довольно спокойная.

Широко распространены днепровско-московские флювиогляциальные отложения в пределах Мещерской аллювиально-зандровой равнины, но здесь они приурочены в основном к долинам рек и залегают под аллювием речных террас. Представлены отложения кварц-полевошпатовыми разнозернистыми песками (преобладают средне- и мелкозернистые) с прослоями гравийно-галечного материала суммарной мощностью от 5 до 20 м (в погребенных долинах). Изредка встречаются прослои (до 2 м) тонких иловатых супесей и суглинков. В долинах рек и на их склонах эти отложения известны в пределах Смоленско-Московской моренной равнины, где они также представлены разнозернистыми песками с линзами валунно-галечного материала.

Наибольший интерес представляет исключительно песчаный разрез флювиогляциальных отложений преимущественно днепровско-московского возраста, приуроченный к локальным участкам, подстилаемым окско-днепровским горизонтом. Большие площади этот тип строения занимает в пределах Мещерской аллювиально-зандровой равнины, в долинах Оки, Москвы, Клязьмы, Поли и других рек, где он перекрыт песчаным аллювием речных террас. Подобные «песчаные окна» известны на небольших участках в долинах многих рек в других инженерно-геологических областях (Москва, Пахра, Озерна, Протва, Нара, Веля, Воря, Талица и др.).

Иные инженерно-геологические условия отмечаются на участках развития днепровско-московских отложений на Москворецко-Окской эрозионной равнине на водоразделах и в долинах рек Москвы (выше устья Северки) и Оки (выше Каширы). Здесь днепровско-московские отложения залегают первыми от поверхности и представлены слоистыми глинистыми породами мощностью до 15 м. Основанием для инженерных сооружений в этом случае будут ленточные глины, характеризующиеся анизотропией многих свойств, в том числе и водопроницаемости. Их сопротивление сдвигу сильно зависит от направлениядвигающего усилия по отношению к поверхности наложения, но в естественных условиях породы могут выдерживать давление до 0,4 МПа без значительных деформаций.

Чаще всего днепровско-московские флювиогляциальные отложения залегают на плотных, слабосжимаемых днепровских моренных суглинках. Мощность днепровской морены в этой части Московской области обычно не превышает 10 м. Основными факторами, которые определяют условия освоения этого района на юге Московской области, являются залегание под покровными суглинками своеобразных в инженерно-геологическом отношении мощных ленточных глин, спорадическая обводненность плогных, слабосжимаемых моренных суглинков и локальное развитие верховодки.

В древних погребенных долинах разрез четвертичных отложений обычно имеет трехслойное строение и заканчивается окско-днепровскими нерасчлененными аллювиальными и флювиогляциальными отложениями, залегающими под горизонтом днепровской морены. На небольших участках в наиболее глубоких частях древних долин сохранился горизонт окской морены. Этот тип строения имеет ограниченное распространение. Днепровско-московский горизонт представлен ленточными глинами, а залегающие ниже окско-днепровские отложения, выполняющие древние эрозионные ложбины,—разнозернистыми песками, обычно мелкозернистыми, косослоистыми, с прослоями суглинков и гравийно-галечного материала. Мощность их составляет 15—17 м, местами до 30 м. Мощность разделяющего их горизонта днепровской морены в погребенных долинах может достигать 30 м.

Окско-днепровский водоносный горизонт обладает небольшим напором (до 2,5 м) и может быть гидравлически связан с нижележащими напорными горизонтами (в данной области с каменноугольными). Горизонт грунтовых вод залегает здесь на глубине от 1 до 10 м и характеризуется слабой водообильностью. Заключенный в окско-днепровских песках водоносный горизонт обладает напором 3—14 м. Разделяющий флювиогляциальные пески слой днепровской морены мощностью не более 5 м слабо и неравномерно обводнен. Воды содержатся в редких маломощных (до 1,5 м) линзах гравия и песка.

Последнюю группу инженерно-геологических районов образуют территории, сложенные с поверхности флювиогляциальными отложениями московского возраста. Очень широко они распространены в пределах Верхневолжской зандровой низменности, где залегают первыми от поверхности и представлены кварц-полевошпатовыми песками, в различной степени глинистыми, разнозернистыми, с гравием и галькой, прослоями и линзами тонких слоистых суглинков. Мощность песков небольшая (2—5 м). В рельефе они соответствуют обширной зандровой низменной равнине.

Невыдержанная мощность флювиогляциальных песков, которая увеличивается на придолинных участках и уменьшается на водоразделах (до 0,7 м), приводит к тому, что на водоразделах они обычно безводны, так как дренируются речной сетью

или сильно выветрелыми и опесчаненными разностями подстилающей их морены. Поэтому водоносный горизонт на таких участках имеет характер верховодки. На остальных участках, где мощность песков превышает 1 м, глубина залегания водоносного горизонта изменяется от 0,3 до 4,5 м. Коэффициент фильтрации песков колеблется от 1,4 до 7,7 м/сут.

Большое влияние на инженерно-геологическую обстановку оказывают широко развитые на плоских междуречьях Верхневолжской низменности современные болотные отложения, представленные в основном торфами, в меньшей степени иловатыми суглинками и глинами. Мощность торфов колеблется от 1,5 до 6 м (в среднем 2,5—3 м). Торфы водонасыщены. Из-за высокой влагоемкости и слабой водоотдачи торфов возможные максимальные водопритoki в дренажные каналы не превышают 0,1 л/с.

Строительство на участках развития слабых современных болотных отложений при их повышенной мощности следует вести с предварительным уплотнением или на свайных фундаментах из-за возможности развития неравномерных осадков под нагрузками.

Обширные пространства московские флювиогляциальные отложения занимают в пределах Мещерской аллювиально-зандровой равнины. Представлены они разнoзернистыми песками, часто тонко- и мелкозернистыми, с прослоями супесей, реже суглинков, с большим количеством гравия и гальки. Содержание гравийно-галечного материала местами достигает 30 %. Обычно мощность их несколько выше, чем на Верхневолжской равнине, и составляет 10—15 м, увеличиваясь в пределах древних долин до 30 м. В рельефе они также соответствуют плоской и пологоволнистой, слабо расчлененной флювиогляциальной равнине.

В песках грунтовые воды залегают на глубине 0,3—11 м (преобладают глубины 1—4 м). Вблизи речных долин отложения могут быть безводными. Коэффициент фильтрации песков, по данным опытных откачек, составляет 5,6 м/сут.

Московские пески почти повсеместно перекрыты покровными суглинками мощностью от нескольких до 10 м. На отдельных участках встречаются современные торфяники мощностью 2,5—5 м. Мощность флювиогляциальных песков непостоянна и на сравнительно близких расстояниях резко меняется: в западинах она достигает 24 м, но обычно не превышает 10 м, а на локальных участках уменьшается до 1 м. Средние значения мощности зоны аэрации составляют 2—5 м.

Грунтовые воды залегают в песках на глубине от 2 до 15 м. Для этой группы районов характерно также развитие верховодки в покровных суглинках на глубине 0,5—3 м, реже до 6 м.

В инженерно-геологическом отношении своеобразны территории, в пределах которых московские флювиогляциальные пески залегают на коренных породах или более древних (днепровско-московских или окско-днепровских) песчаных отложениях.



На большей части области московские флювиогляциальные пески залегают на московских моренных суглинках. Только на небольших участках разрез четвертичных отложений заканчивается горизонтом московской морены, чаще же она подстилается днепровскими моренными суглинками.

Для Мещерской равнины характерно отсутствие московской морены, и флювиогляциальные пески залегают здесь непосредственно на днепровской морене. В целом двухслойное строение четвертичного разреза не имеет широкого распространения. Наибольшие площади его известны на крайнем западе и востоке Московской области. Почти везде суммарная мощность подстилающих моренных суглинков довольно большая (не менее 25 м), поэтому водоносный горизонт в московских песках не связан с нижележащими водоносными горизонтами. Исключением являются районы Мещерской равнины, где мощность днепровской морены обычно около 10 м.

При освоении таких районов следует учитывать спорадическую обводненность моренных суглинков, содержащих в песчаных линзах слабонапорные воды, и возможность появления верховодки на участках развития покровных суглинков. При близком к поверхности залегании морены следствием строительства могут быть подтопление или заболачивание территории, борьба с которыми осложняется слабой дренированностью и ровным, слабо расчлененным рельефом.

В области распространения суглинков московской морены встречаются участки, где под московской мореной залегают только водоносные днепровско-московские флювиогляциальные пески. Горизонт днепровской морены здесь полностью уничтожен.

Несколько иной характер имеет трехслойный разрез четвертичных отложений в пределах Мещерской равнины, где надморенные флювиогляциальные пески залегают на днепровской морене, которая подстилается окско-днепровскими песками.

Наличие напорного водоносного горизонта в днепровско-московских (или окско-днепровских) песках необходимо учитывать при подземном строительстве в связи с возможностью их прорыва в подземные выработки. Кроме того, на отдельных участках он может быть гидравлически связан с глубокими водоносными горизонтами.

В бассейнах рек Искони, Рузы, Сходни и Дубны (пос. Вербилки), а также на междуречье Ламы и Яхромы днепровско-московские флювиогляциальные пески залегают на днепровской морене, и разрез четвертичных отложений становится четырехслойным. Напорные воды, содержащиеся в этих песках (напор может достигать 10 м), нижним горизонтом морены изолированы от глубоких напорных водоносных горизонтов.

К древним погребенным долинам приурочен последний тип разреза четвертичных отложений, выделенный нами на территории Московской области и представленный чередованием флю-

виогляциальных песчаных отложений с толщами плотных моренных суглинков (пятислойное строение), причем пески начинают и заканчивают его.

Инженерно-геологические условия наземного строительства не отличаются от условий описанных выше районов. Использование подземного пространства осложняется здесь наличием двух напорных водоносных горизонтов. В бассейне Яхромы нижний горизонт гидравлически связан с глубокими горизонтами карбона.

Таким образом, общими особенностями инженерно-геологических условий для всех районов развития московских флювиогляциальных отложений являются ровный заболоченный рельеф, почти повсеместное распространение под песками слабосжимаемых, по спорадически обводненных моренных суглинков, довольно широкое развитие слабых водонасыщенных торфов мощностью до 6 м, на большей части территории близкое к поверхности залегание грунтовых вод. Сложность освоения подземного пространства в первую очередь определяется числом напорных водоносных горизонтов, залегающих ниже московской морены, и их связью с глубокими водоносными горизонтами. Строительство гидротехнических сооружений в связи с неглубоким залеганием грунтовых вод и слабой расчлененностью рельефа может привести к значительному подтоплению территории.

Современные речные долины имеют свои особенности строения геологической среды. Однако при всем разнообразии литологических типов этого строения имеется одно сходство — все они начинаются со слоя аллювиальных песков. Грунтовые воды в аллювиальных песках находятся вблизи дневной поверхности (1—2 м). Более глубокое залегание грунтовых вод отмечается на отдельных участках высоких надпойменных террас в долинах р. Москвы, Оки, Пахры и левых притоков Цны.

Как правило, на большей части территории Верхневолжской задровой равнины аллювиальные пески подстилаются мало-мощным слоем флювиогляциальных, которые залегают на довольно мощных толщах московских моренных суглинков. Значительно реже под аллювием встречается горизонт московской морены разной мощности.

Большие торфяные массивы в области приурочены к заболоченным участкам надпойменных террас. Площадь пойм достигает нескольких десятков тысяч гектаров. Мощность торфа обычно составляет 2,5—5 м (до 10 м). Торфы водонасыщены, естественная влажность их достигает 93 %. Грунтовые воды находятся на глубине не более 0,3 м.

Инженерно-геоэкологические условия в долинах рек, протекающих в пределах Верхневолжской задровой равнины, из-за близкого к поверхности залегания грунтовых вод, сильной заболоченности и заторфованности территории довольно сложные. При строительстве следует проводить дренажные работы и

предварительное уплотнение слабых торфов в случае их большой мощности.

Иные породы слагают цоколи террас Мещерской аллювиально-зандровой равнины. В долинах Поли и Цны под аллювием, как правило, залегает песчаная толща четвертичных отложений, а в долине Клязьмы — песчано-глинистые породы мезозоя или карбонатные породы позднекаменноугольного возраста. Условия для наземного строительства в речных долинах этой инженерно-геологической области определяются близким залеганием грунтовых вод, слабой дренированностью, сильной заболоченностью и заторфованностью. Особое внимание должно быть уделено территориям, где под аллювиальными песками залегают закарстованные известняки и доломиты карбона.

В пределах Смоленско-Московской моренной равнины под аллювием большинства рек находится толща московских моренных суглинков, которая изолирует грунтовые воды от нижележащих водоносных горизонтов.

Разнообразные типы строения геологической среды отмечаются под аллювием в долине р. Москвы. Здесь на участках древних погребенных долин аллювий залегает на древних, окско-днепровских, преимущественно аллювиальных песках или закарстованных известняках и доломитах карбона. Именно к таким участкам на территории Москвы приурочено оживление карстово-суффозионных процессов. Коренные породы в долине Москвы появляются под аллювием ниже Звенигорода.

В большинстве речных долин Смоленско-Московской равнины условия инженерно-хозяйственного освоения благоприятные, так как аллювий залегает на глинистых водоупорных породах.

В долинах Москворецко-Окской равнины под аллювием часто залегают закарстованные известняки и доломиты среднего карбона или верхнеюрские глины, реже — пески мезозоя. Местами аллювиальные пески подстилаются днепровской мореной. В целом инженерно-геологические условия освоения речных долин Москворецко-Окской равнины благоприятны, за исключением тех участков, где аллювиальные пески залегают непосредственно на известняках карбона. Здесь существует реальная опасность загрязнения с поверхности глубоких доюрских водоносных горизонтов, гидравлически связанных и с грунтовыми, и речными водами.

Долины рек в южной части Московского региона (в том числе и Оки) отличаются появлением под аллювием верейских глин и нижнекаменноугольных карбонатных пород. Часто встречаются и карбонатные породы среднекаменноугольного возраста, с которыми связаны проявления карста на поверхности. Довольно часто современные реки наследуют древние долины, и тогда аллювий залегает на древних окско-днепровских аллювиальных песках или мощных песчаных толщах неогена (долина Осетра). Почти везде аллювиальный водоносный горизонт имеет гидрав-

лическую связь с нижележащими водоносными горизонтами. Такое пестрое строение подстилающих аллювий пород следует учитывать при создании водохранилищ и строительстве плотин.

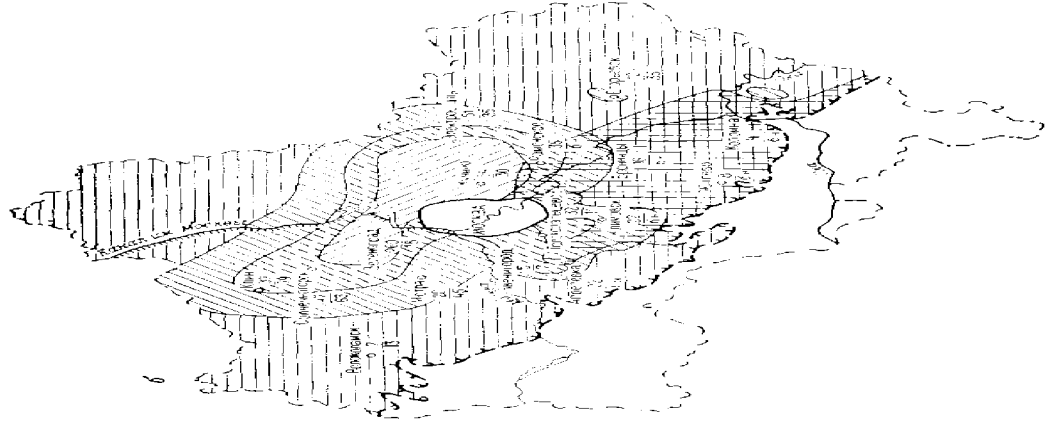
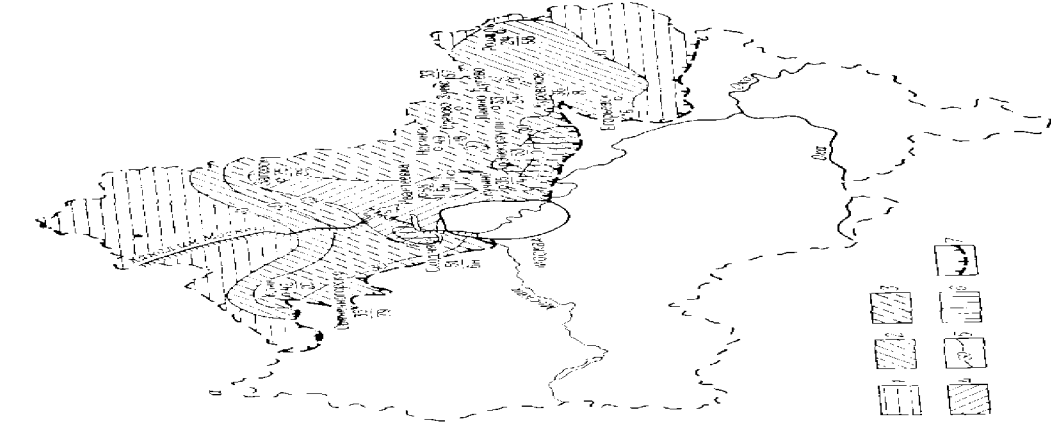
Типологическое инженерно-геологическое районирование территории Московского региона позволило проанализировать инженерно-геологические условия на всю глубину хозяйственного освоения и показало, насколько сложно и разнообразно сочетание типов строения четвертичных и дочетвертичных пород в связи с различной мощностью четвертичной толщи, особенностями ее строения и связью с закарстованными карбонатными породами каменноугольного возраста. Были выделены участки, требующие повышенного внимания при инженерно-геологических исследованиях и освоении территории. Это, во-первых, так называемые «эрозионные окна», где отсутствует толща плотных юрских глин и четвертичные отложения залегают непосредственно на породах карбона. Во-вторых, в долинах современных рек (Ока, Москва и др.) были установлены участки, где песчаные аллювиальные отложения поймы и надпойменных террас лежат непосредственно на закарстованных породах. В-третьих, выявлены территории широкого развития песчаных четвертичных отложений. Все эти особенности следует учитывать при оценке и прогнозе изменений геологической среды, выявлении основных тенденций их развития и разработке рекомендаций по рациональному использованию территории.

## **2.4. ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

### **Изменения гидрогеологических условий**

Испытывая преобразования под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека, вступая в тесный контакт с техносферой, геологическая среда промышленно развитых регионов все чаще начинает подчиняться законам и циклам функционирования ПТС и играть роль их геологической основы. Техногенное ядро такой природно-технической полисистемы оказывает прямое и опосредствованное влияние на водную и газовую составляющие геологической среды через экзогенные геологические (в том числе инженерно-геологические) процессы или путем прямого инженерного воздействия. В результате такого техногенного прессинга изменяются состав, физико-механические свойства и структура верхних слоев литосферы, рельеф, почвы и растительность, идет загрязнение подземных горизонтов, меняются состав и гидродинамические параметры подземных вод.

Подземные воды чутко реагируют на региональные и глобальные изменения климата, мелиорацию почв и преобразование растительности, гидротехническое строительство, осушение болот и другие техногенные процессы, так или иначе затрагивающие геологическую среду промышленных регионов. Но в гораздо большей степени на их режим, запасы и состав влияет



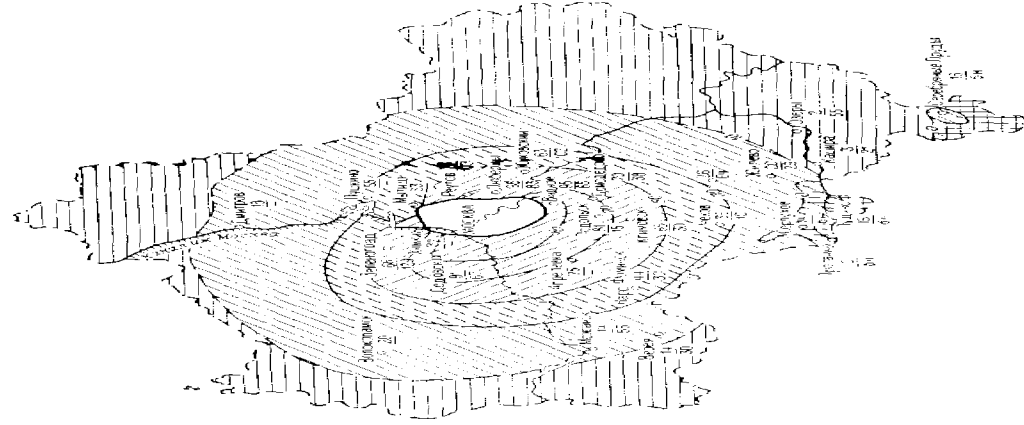
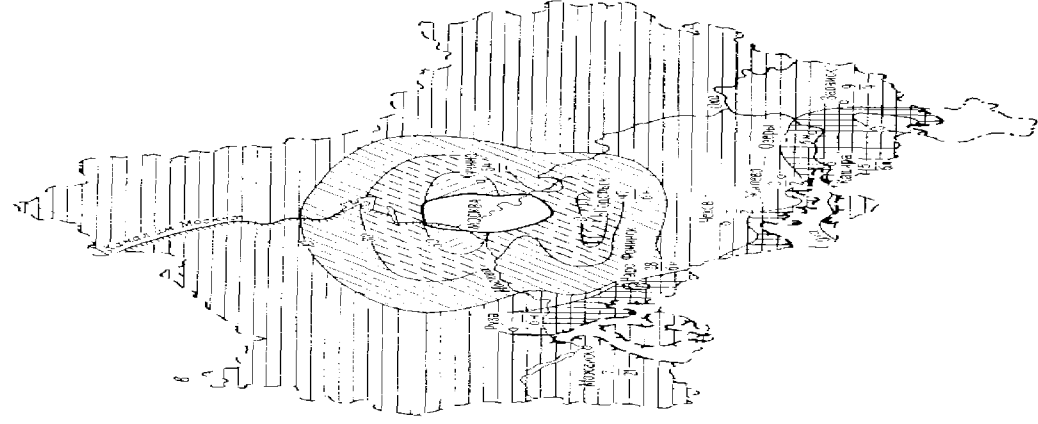


Рис. 20. Статистические карты понижений и остаточных набо-  
ров выхлопных поршней и комплексов карбона

[illegible]

все возрастающий водоотбор. Наблюдения за подземными водами дают информацию об изменениях условий их питания и разгрузки, режима и состава. Это касается прежде всего вод мезо-кайнозойской кровли.

Длительное время запасы подземных вод глубоких горизонтов считались неисчерпаемыми, и в литературе, когда речь шла об артезианских водах Москвы и Подмосковья, можно было встретить выражение «подземное море».

В настоящее время под влиянием водоотбора во всех эксплуатируемых горизонтах сформировались обширнейшие депрессионные воронки (рис. 20), рост которых продолжается.

Наиболее серьезные изменения гидрогеологических условий зафиксированы в верхних слоях литосферы, где влияние человека особенно сильно. Прежде всего это относится к грунтовым водам и водам техногенного подтопления. Опрос населения Подмосковья позволяет сделать вывод о практически повсеместном ухудшении качества грунтовых вод и вод неглубоких горизонтов и комплексов. Много сведений собрано и об изменениях уровней грунтовых вод. Процесс этот также наблюдается почти повсеместно, но в одних случаях отмечается повышение, а в других — понижение уровней, и какой-либо закономерности в проявлении его обнаружить не удалось. В каждом конкретном случае это было связано с местными мелиоративными и другими инженерными мероприятиями, да и само инженерное вмешательство нередко носило временный характер. Такие колебания уровней грунтовых вод необходимо связывать с технологией производства, на чем впоследствии и будет строиться прогноз. Пока же наблюдения за уровнями вод четвертичных отложений крайне редки и непродолжительны.

Многолетняя интенсивная эксплуатация подземных вод Подмосковья привела к нарушению регионального потока, изменению уровня режима и характера взаимосвязи между водоносными горизонтами, комплексами, грунтовыми и поверхностными водами.

В клязьминско-ассельском водоносном горизонте, первом от поверхности, сформировалась депрессионная воронка сложной формы. Сработка уровня в ее центре, в районе Загорска, достигает 80 м. Близкий к естественному режим подземных вод сохранился на окраинных северных и северо-восточных участках Московского региона. Понижение уровней отмечается в районах Орехово-Зуева, Электростали, Ногинска, Монины и Старой Купавны, где формируются воронки, сливающиеся с центральной и сильно искажающие морфологию пьезометрической поверхности уровней. Самое активное снижение уровней наблюдалось в 1965—1985 гг. Именно в этот период водопонижение в районе Загорска достигло 83 % общего, зафиксированного на сегодня снижения уровней.

Касимовский водоносный горизонт (см. рис. 20, а) выходит из-под клязьминско-ассельского лишь в неширокой полосе, про-

тягивающейся от Клина на юго-восток к Егорьевску. Работа примерно 60 групповых водозаборов, не считая одиночных скважин, способствовала формированию сложного рельефа пьезометрической поверхности с многочисленными сливающимися депрессионными воронками. Близкий к естественному режим подземных вод этого горизонта сохранился лишь на севере и востоке региона, где промышленность и городское строительство развиты на небольшой части территории.

Согласно расчетам, естественная пьезометрическая поверхность касимовского водоносного горизонта находилась на отметках 175—185 м и постепенно снижалась до 115—125 м на восточной окраине региона. Снижение уровня колеблется от 10 до 75 м. Ближе к центру и несколько северо-восточнее него воды горизонта опустились на 5—10 м (до 20 м) ниже его кровли.

Наибольшее, 60-метровое снижение уровней отмечается в районе Мытищ, у пос. Чкаловское. Несколько меньше эти величины в пределах городов Калининград, Болшево, Щелково, Ногинск, Электросталь, Фрязино и Ивантеевка.

Третий от поверхности горизонт, подольско-мячковский (см. рис. 20, б), в естественных условиях дренировался реками Москвы, Десной, Пахрой, Мочей, Рожайкой, Северкой, Каширкой и их притоками. Теперь наблюдается обратный процесс: воды этих рек начинают питать подземные горизонты. Пьезометрическая поверхность подольско-мячковского горизонта осложнена крупной московской депрессионной воронкой радиусом свыше 50 км со сработкой уровня в центре на 50—70 м. В последнее время центр воронки смещается к северо-востоку, что свидетельствует об увеличении водоотбора за пределами Москвы. Водоотбор, превышающий запасы подземных вод, привел к частичному осушению водоносного горизонта на глубину до 20 и даже до 30 м по южному краю московской депрессии.

В среднем уровни подольско-мячковского водоносного горизонта понизились на 10—70 м. Сработка уровней продолжается. Продолжается и рост площади крупнейшей московской депрессии. Наибольшее изменение морфологии поверхности (в том числе и пьезометрической) этого горизонта наблюдается вблизи Москвы на севере, северо-востоке и юго-западе от нее. К юго-востоку от Москвы по долинам крупных рек сформировалась обширная безнапорная зона. К северу наблюдается плавное восстановление напоров до 70 м у границ региона. В зоне влияния ряда крупных центральных водозаборов воды оказались ниже кровли горизонта.

В каширском водоносном горизонте (см. рис. 20, в) также образовалась и продолжает расти крупная депрессионная воронка, края которой осложнены наложенными мелкими воронками, характерными для городов Балашиха, Красногорск, Лыткарино, Видное и Подольск. В районе Подольска снижение уровня привело к полной сработке напора.



На юге и юго-востоке области, там где отбор воды идет в непосредственной близости от области питания, снижение уровней редко превышает первые метры. Вместе с тем именно здесь (Кашира, Новокаширск, Озера) проходит зона безнапорного режима. В южной части каширского горизонта остаточный напор колеблется в пределах первого десятка метров. На морфологию уровней (в том числе и пьезометрических) влияет водоотбор из вышележащих водоносных толщ, гидравлически связанных с каширским горизонтом.

В окско-протвинском водоносном горизонте (см. рис. 20, 2) близкий к естественному режим подземных вод наблюдается на юге территории его распространения, где он питается водами Оки. От Москвы к периферии области развивается сверхкрупная региональная депрессия радиусом 100 км. При этом только за последние 20 лет ее границы продвинулись в южном направлении на 7—10 км и на 10—15 км в западном. Максимальное снижение уровней в центре воронки превысило 100 м. За пределами Москвы снижение уровней наблюдается в Климовске, Домодедове, Апрелевке, Подольске и некоторых других городах.

Даже такая краткая характеристика глубоких водоносных горизонтов позволяет представить всю масштабность происходящих в них изменений. Во всех горизонтах сформированы крупные и сверхкрупные (радиусом более 100 км) депрессионные воронки, которые, сливаясь, образуют обширные поля депрессионных понижений.

Интенсивная эксплуатация водоносных горизонтов на большей части Московской области (начиная с 1960-х гг. и особенно за последние 10 лет) привела к нарушению естественного режима подземных вод. По данным В. С. Плотникова и других исследователей, снижение уровней подземных вод по всем эксплуатируемым горизонтам карбона в районе Москвы и лесопарковой зоны достигает 100 м. В то время как в районе Москвы в связи с сокращением водоотбора наблюдается стабилизация и даже незначительное повышение уровня подземных вод, на остальной территории области уровни продолжают снижаться. Средняя скорость снижения за период с 1973 по 1980 г. оценивается в 0,5 м в год и более.

Эксплуатация каменноугольных водоносных горизонтов привела также к изменениям температурного и гидрохимического режимов, а также регионального плана потока, характера взаимодействия между водоносными горизонтами, грунтовыми и поверхностными водами. Известно, что площадь положительной температурной аномалии подземных вод в районе Москвы составляет примерно 1600 км<sup>2</sup>, а площадь гидрохимической аномалии с превышением общей минерализации на 0,1—0,2 г/л и более достигла не одной сотни квадратных километров. Глубина поля этих аномалий до 300 м.

Кроме Москвы и лесопарковой зоны наибольшие нарушения естественного режима подземных вод отмечаются в Раменском, Подольском, Щелковском и Ногинском районах. В периферийных районах Московской области — Наро-Фоминском, Можайском и Шатурском — сохранился естественный режим подземных вод.

Эксплуатируемые каменноугольные водоносные горизонты отделяются от пестро обводненной толщи рыхлых отложений, наиболее подверженной техногенному влиянию, слоем плотных юрских глин. Этот водоупор отсутствует на западе и юге территории, кроме того, он изобилует «окнами» и прорезан долинами древних и современных рек.

Воды мезокайнозойских отложений, перекрывающих карбон, используются населением для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Промышленное их использование пока только планируется.

Гидравлическая связь отдельных мезокайнозойских горизонтов между собой и с поверхностными водами в сочетании с интенсивным загрязнением с поверхности создает условия для горизонтального и вертикального распространения элементов-загрязнителей. Режим грунтовых и связанных с ними вод нижележащих горизонтов почти повсеместно изменен и наряду с сезонной цикличностью подчинен техногенным циклам. Термин «техногенный цикл» далеко не исчерпывает гидрогеологических изменений, связанных с инженерно-хозяйственной деятельностью человека. В зоне водохранилищ, на поливных, осушаемых и восстанавливаемых землях режим подземных и поверхностных вод создан человеком и определяется технологией землепользования. По аналогии с инженерно-геологическими процессами режим таких водоносных горизонтов и комплексов можно было бы называть инженерно-гидрогеологическим, т. е. созданным человеком, тем более, что его формирование во многом связано с водопотреблением.

Эксплуатация подземных вод заметно отражается на водности малых рек. Так, 20—30 % стока рек московского региона формируется за счет подземных вод, а модуль подземного притока в эти реки равен 1,5—2,5 л/(с·км<sup>2</sup>). Расчеты показали, что более 40 % откачиваемых подземных вод составляют инфильтрующиеся речные воды, 30 % — воды мезозойско-четвертичных отложений и только около 25 % дает сработка емкостных запасов подземных вод. Такой баланс заставляет предъявлять особые требования к качеству поверхностных вод, по крайней мере в местах их фильтрации в глубокие водоносные горизонты. Уже сейчас отмечается ухудшение качества подземных вод в пределах Мытищ, Воскресенска, Жуковского, Электроуглей и других городов, где поверхностные воды страдают от интенсивного загрязнения. Несмотря на столь серьезное положение, к 2000 г. отбор подземных вод намечено увеличить.

Типичным примером формирования «инженерно-гидрогеоло-

гического водоносного горизонта» может служить процесс техногенного подтопления, который в настоящее время вызывает острый интерес у гидрогеологов, инженеров-геологов, архитекторов и ландшафтоведов. Подтопление, которое еще сравнительно недавно связывалось с влиянием искусственных водоемов и орошением, теперь становится спутником градостроительства. Почти все города Подмоскovie поражены этим процессом. Учитывая экологические последствия этого процесса, рассмотрим его подробнее.

Подтоплением называется временное повышение уровня грунтовых вод или формирование нового водоносного горизонта (слоя, линзы) в результате техногенного влияния при соответствующих природных условиях, приводящее к нарушению условий строительства, затоплению подземных частей сооружений и коммуникаций или влекущее за собой изменения ландшафта (заболачивание, переувлажнение земель, угнетение естественной растительности и замещение ее гидрофильными, болотными видами). В литературе подтопление иногда трактуется как процесс, развивающийся на застроенных территориях, чем несправедливо сужаются рамки этого процесса, который впервые вызвал серьезный интерес при создании водохранилищ и подпоре грунтовых вод по их берегам. При заполнении водоемов подтопление выводило из хозяйственного оборота ценные прибрежные сельско- и лесохозяйственные земли, снижало рекреационные качества береговых ландшафтов.

И в Московском регионе вокруг водохранилищ можно проследить зону подтопления. Ширина ее иногда достигает 600 м (Верхне-Рузское водохранилище), но в подавляющем большинстве случаев не превышает 200 м (Истринское, Рузское, Можайское и другие водохранилища).

Зона подтопления выделяется на аэро- и космических фотоснимках по характерному изменению почвенно-растительного покрова. Так, на снимках Можайского и Озернинского водохранилищ по их берегам четко выделяются лишь островки суходольных лугов, которые раньше занимали всю прибрежную полосу. В зоне подтопления суходольные злаки сменяются разнообразно-осоково-ситниковыми ассоциациями. По мере приближения к урезу воды осока уступает место ситникам, которые группируются в изолированные куртины. Почвы в зоне наибольшего подтопления (периодического затопления) дерново-подзолисто-глеевые; по мере удаления от водохранилища они постепенно сменяются дерново-подзолистыми глубиннооглееными или неоглееными.

И тем не менее, в настоящее время подтопление вполне может рассматриваться как инженерно-гидрогеологический процесс растущих городов. Во всяком случае в Подмоскovie оно поразило многие районы городских новостроек. Это связано с общей тенденцией архитектурной планировки к выравниванию участков застройки, ликвидации оврагов и эрозионных борозд.

Редкий город в настоящее время не страдает от подтопления. Недаром этот процесс был назван в анкетах, разосланных архитекторам Подмосковья, первым среди других геологических процессов, нарушающих нормальную жизнь горожан и усложняющих условия строительства. Даже в одном из новых районов Дмитрова, расположенного на моренных всхолмлениях Клинско-Дмитровской гряды, отмечается подтопление подвалов.

Причины подтопления разнообразны. Здесь и создание водоемов, вызывающих подпор грунтовых вод, засыпка естественных дрен — оврагов, искусственное дождевание, ограничение участков, на которых выпавшие атмосферные осадки могут проникать в грунт (уплотнение грунтов, асфальтирование), плотинный эффект фундаментов сооружений, перегораживающих пути стока подземных вод, утечки из коммуникаций и отсыпка техногенных грунтов, имеющих водонепроницаемые (слабопроницаемые) прослои.

В большинстве случаев подтопление в условиях города носит локальный характер и довольно быстро ликвидируется. Но известно немало случаев, когда подтопление приводило к созданию постоянных или временных (без видимых перспектив их осушения в прогнозируемом будущем) водоносных горизонтов. Такие инженерно-геологические горизонты (наряду со спорадическим обводнением) получили развитие в Москве (по долинам рек Чуры, Кровянки, Раменки, Котловки), Егорьевске, Запрудне и других городах и поселках городского типа в Подмосковье. В Москве такие горизонты встречаются в покровных отложениях, флювиогляциальных песках и выветрелых слоях морен.

Инженерно-геологические процессы, к которым относится подтопление<sup>1</sup>, отличается разнообразие форм и масштабов проявления, характеристик режима и состава вод, их гидравлических связей, что объясняется и неоднородностью геологических условий, и множественностью техногенных факторов — причин зарождения и развития этих процессов.

Техногенное обводнение пород сопровождается изменением их свойств и состава. Известно, что замачивание ведет к разуплотнению и нарушению естественной структуры лёссовых пород в результате гидростатического взвешивания и смещения частиц. Многие глинистые грунты при замачивании набухают. Кроме того, ухудшаются их прочностные и деформационные свойства. Е. С. Дзекцер отмечает, что сцепление в этом случае уменьшается в 2—2,5 раза, угол внутреннего трения — на 10—15 %, модуль деформации — в 2—3,5 раза.

Фильтрация, подъемы и снижения уровней вод новообразованных горизонтов создают условия для развития суффозии, а следовательно, и коьматации грунтов, увеличивают вероятность

---

<sup>1</sup> В литературе можно встретить синоним «техногенное подтопление».

оползневых смещений и плоскостной эрозии. Подтопление всегда связано с деятельностью человека и вызывается изменением естественных условий стока подземных вод, дополнительным питанием их за счет утечек из коммуникаций или обеими причинами вместе. В городах — это характерный процесс контазоны.

В отличие от естественных грунтовых вод, режим которых довольно устойчив и обусловлен климатической зональностью, подтопление связано с деятельностью человека и нередко подчиняется технологическим или функциональным циклам городского хозяйства. Процесс подтопления, как правило, быстротечен, и практически за несколько дней может быть образована обширная зона подтопления городских строений.

Известны случаи, когда развитие подтопления сопровождалось увеличением риска паводкового затопления городской территории, что наглядно проявилось в черте Дмитрова там, где его пересекает канал им. Москвы. Врезаясь в пойму Яхромы, ложе канала способствовало созданию устойчивой зоны подтопления с разбросанными по старицам очагами заболачивания. Режим мелких рек, водосбор которых включен в территорию современной застройки с асфальтированием и уплотнением грунтов между строениями, претерпел серьезные изменения. Прежде всего, резко увеличались амплитуда и скорости паводкового подъема уровней. Подтопление практически свело к нулю емкость зоны аэрации как пространства, принимающего излишки поверхностных вод и рассредотачивающего их сброс (фильтрацию). В результате возросло число случаев затопления территории даже в меженный период при выпадении далеко не критического (по прежним меркам) количества атмосферных осадков.

Наряду с подтоплением городов наблюдается и осушение ранее заболоченных участков. Интенсивное потребление городом подземных вод глубоких горизонтов приводит к инверсии их перетока. На участках, где надежный разделительный водупор между эксплуатируемыми горизонтами и водами четвертичного покрова отсутствует, при сработке напора первых из них происходит разгрузка грунтовых вод в нижележащие горизонты, что отражается на общей обводненности городских земель в этой зоне. В качестве примера можно привести Подольск, где при общем снижении уровней грунтовых вод на участках развития днепровской морены отмечены процессы подтопления.

И еще одна особенность подтопления городских территорий — с ним практически всегда связаны химическое и бактериальное загрязнения, рост температуры и агрессивности грунтовых вод. В пределах Москвы локальное (но довольно широко развитое) подтопление происходит на фоне общего снижения уровней грунтовых вод.

До сих пор речь шла об изменениях режима подземных вод и условий их распространения. Не меньше, если не больше,

страдает геологическая среда промышленно развитых территорий и от загрязнения. Сложные гидравлические связи поверхностных и подземных вод, динамичность вертикальных и горизонтальных потоков веществ-загрязнителей среды создают условия, при которых раздельное изучение загрязнения подземных и поверхностных вод не дает желаемого эффекта. Только тогда, когда подземные и поверхностные воды рассматриваются как единая система — объект загрязнения, а техносфера — как источник, генератор загрязняющих веществ, можно строить прогнозные модели загрязнения геологической среды.

Существует большое число обобщенных и унифицированных таблиц-шкал загрязняющих веществ, разработанных для различных производств и технологий. Они позволяют на стадии проектирования строительства прогнозировать вещественный состав загрязнителей геологической среды. Карта гидрогеохимического районирования, составленная В. М. Дубровиным (рис. 21; табл. 12), показывает встречаемость различных типов вод с разной степенью агрессивности в пределах основных ПТС Московского региона. Прослеженная дифференциация типов вод и их связь с техносферой свидетельствуют об интенсивном техногенном обогащении грунтовых вод химическими элементами, при котором тип вод определяется уже не природными условиями, а структурой техносферы и чистотой производства.

О загрязнении грунтовых вод в Москве и Московской области еще в 1905 г. писал С. С. Орлов; позднее появились работы Ф. В. Кошлова, П. П. Климентова, Ф. Ф. Лаптева, Ф. М. Бочевера, В. И. Просенкова и др. Во многих из них отмечалось, что значительные площади Московской области подвержены загрязнению азотсодержащими компонентами.

Исследования, начатые в 1974 г. на территории Москвы, обнаружили в грунтовых водах повышенные концентрации металлов, анионов сильных и слабых кислот, а также значительные колебания рН. Подобные ситуации наблюдаются и в других городах области: Орехово-Зуево, Коломне, Воскресенске, Купавне, Ступине, Наро-Фоминске, Можайске и др. Минерализация грунтовых вод в черте Москвы и других городов может различаться в сотни раз. В грунтовых водах Московской области при опробовании обнаружены многочисленные точки с повышенными концентрациями различных компонентов.

Для городских территорий характерна чрезвычайная «пестрота» загрязнения, когда на сравнительно небольшом участке можно встретить воды разных типов. Причем эта «пестрота» прослеживается и по площади и по разрезу контанзоны. Так, в одном из промышленных районов Москвы на расстоянии всего 100 м при опробовании батарей иглофильтровых установок было обнаружено около 10 типов вод, среди которых присутствовали и сульфатно-хлоридные, и нитратно-сульфатные. При этом минерализация изменялась скачкообразно. По газовому составу воды изменялись от кислородных до сероводородных. В районе

**Хозяйственное освоение и различия состава грунтовых вод  
Московского региона**

Вид освоения (см рис 21)	Минерализация вод (средняя), г/л	Встречаемость вод различного типа, %					
		Гидрокарбо- нато хлорид- ные и гидро- карбонатные	Хлоридные	Гидрокарбо- нато суль- фатные	Сульфатно- гидрокарбо- натные	Гидрокарбо- нато нитрат- ные	Нитратно- гидрокарбо- натные
Промышленное (2)	3,5	20	10	30	20	15	5
Городское (3)	2,8	42	2	30	8	13	5
Сельскохозяйст- венное.							
пашня (4)	0,6	30	2	25	3	33	7
луга (5)	0,5	70	—	20	—	8	2
Лесохозяйствен- ное (6)	0,4	80	—	20	—	—	—

Бибирева на северной окраине Москвы (долина Чермянки) четыре родника на площади 1 км<sup>2</sup> имеют четыре различных типа вод. Сходная картина иногда наблюдалась и при опробовании в сельской местности. Так, в д. Донино (Мещерская низменность) на площади 0,2 км<sup>2</sup> опробованию было подвергнуто восемь колодцев. Наряду с гидрокарбонатно-хлоридными водами были отмечены сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные, сульфатно-нитратные, хлоридно- и нитратно-гидрокарбонатные.

Города Подмосковья все еще не освободились от стоков, которые несут нефтепродукты, соединения свинца, хрома, никеля, меди, кислоты и поверхностно-активные вещества. Загрязнение почв вокруг городов связано в основном с ветропереносом загрязняющих веществ. По сведениям Ю. Е. Саета, И. Л. Борисенко, И. В. Галицкой и др., устойчивые ареалы загрязнения фиксируются на расстоянии 2—3 км от промышленных предприятий. При этом дальность рассеивания различных элементов (свинец, титан, марганец и др.) заметно различалась.

В городах активизируются и геомикробиологические процессы, влекущие за собой коррозию металлов, цемента и даже пластмасс. Коррозия металлов может быть связана с блуждающими токами, которые вызывают осмотические явления и электрофорез, в результате чего можно наблюдать перераспределение влаги и солей в грунтах, что отражается на свойствах последних. Сейчас отмечается некоторое снижение вредных выбросов в атмосферу: в городах Подмосковья за 1982—1985 гг. они снизились с 715 до 685 тыс. т.

В непромышленной зоне городов загрязнение носит островной характер. Минерализация грунтовых вод здесь колеблется от 0,2 до 3 г/л (мода 2,8 г/л). Преобладают гидрокарбонатно-

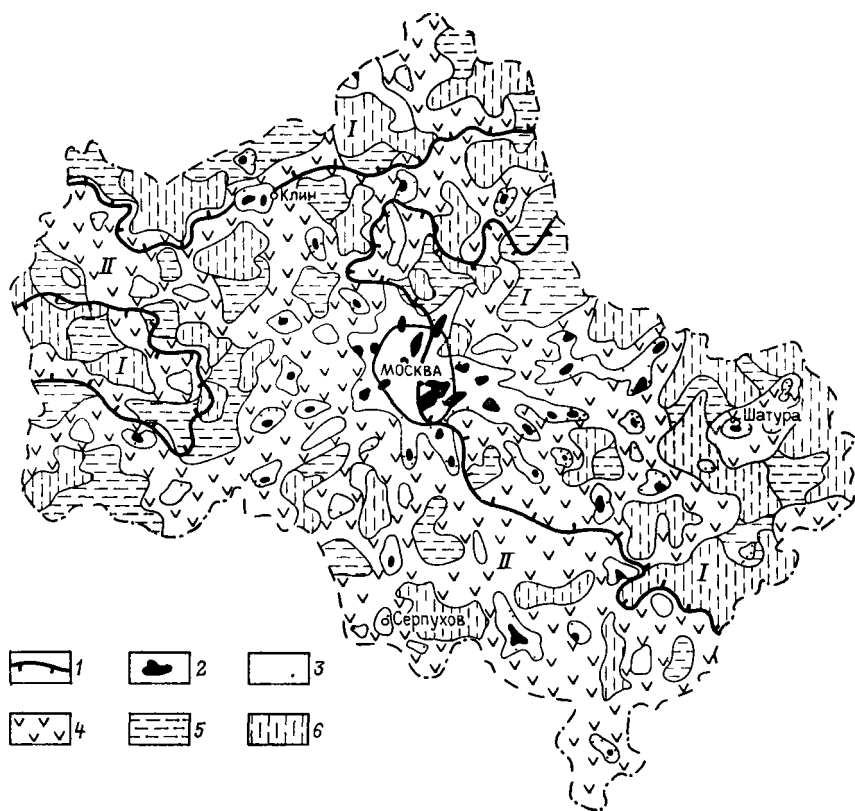


Рис 21 Карта гидрогеохимического районирования грунтовых вод Московского региона (по В. М. Дубровину, 1986).

Геохимические районы I — с преобладанием грунтов с высоким содержанием органического вещества II — с преобладанием грунтов с низким содержанием органического вещества I — граница между районами, 2 — промышленная зона, 3 — города 4 — сельскохозяйственные поля, 5 — луга, 6 — леса

хлоридные, реже гидрокарбонатно-сульфатные и гидрокарбонатно-нитратные воды. Агрессивность к карбонатам, бетону и арматурной стали значительно ниже. На территории сельских жилых массивов и подсобных хозяйств грунтовые воды имеют гидрокарбонатно-хлоридный и гидрокарбонатно-нитратный состав. Наряду с этими водами развиты также гидрокарбонатно-сульфатные. Во всех этих водах присутствуют азотсодержащие вещества и ядохимикаты, такие как карбофос и гексахлорциклогексан. Местами отмечается слабая агрессивность вод по отношению к карбонатам, бетону и арматурной стали.

На участках лугов и селитб (деревень) воды гидрокарбонатно-хлоридные со значительно меньшей минерализацией. Нередко отмечается повышенное содержание аммония, нитритов, нитратов, сульфатов и хлора. Воды, фильтрующиеся с сельскохозяйственных полей, несут также соединения ниобия, скандия,



циркония и марганца. Иногда в них встречаются ртуть, цинк, медь и свинец. Азот, фосфор, кремний, кальций, магний и калий, присутствующие в водах, поступающих с сельскохозяйственных полей, проникают и в грунтовые воды. Вынос фосфора с полей на севере области равен примерно 450 г/га. С лесных участков его поступление меньше примерно в 10 раз, а с болот — в 100 раз. Это ведет к увеличению содержания фосфора и азота в водоемах, куда идет сток, к вспышке евтрофикации и появлению новых болот. Проникновение этих веществ в подземные воды вызывает увеличение содержания в них органической составляющей. Такое органическое загрязнение ведет к изменению состава и водопроницаемости пород.

Вблизи животноводческих ферм подземные воды загрязняются нитратами, образующимися в результате бактериального окисления аммиака. Машинно-тракторное хозяйство совхозов и колхозов нередко загрязняют среду сточными водами, содержащими такие вредные элементы как цирконий, бор, молибден, никель, серебро, вольфрам, медь, олово, свинец и цинк.

Одним из главных источников загрязнения являются свалки и санитарные зоны. И дело не только в их токсикологической опасности, а прежде всего во все расширяющихся бесконтрольных, так называемых «стихийных», замусоривании территории и сбросах стоков. Складирование бытовых, а нередко и промышленных отходов в Московской области в значительной мере вышло из-под контроля. Рассредоточенное, подверженное стихийным процессам образование свалок несет значительно большую угрозу природной чистоте подземных сфер, чем поток загрязняющих веществ крупных производств, так как эффективной профилактике негативных процессов предшествуют прогноз и контроль, которые в данном случае трудно осуществить именно из-за «стихийности», непредсказуемости образования таких свалок.

Свалки являются, пожалуй, наиболее активными (из расчета количества продуцируемых загрязнителей с единицы площади) источниками загрязнения геологической среды и в частности подземных вод. Прямую угрозу строительным объектам несут старые, засыпанные и забытые отходы. Деформации сооружений из-за неравномерных осадок фундамента и газификация подвалов — основные процессы, связанные с этими свалками. Содержание химических элементов вокруг городских свалок в 5—10 раз превышает фоновые значения. Почвы вблизи них загрязнены элементами 18—23 видов, и даже в компостах из бытовых отходов фиксируется довольно высокое содержание магния, свинца, серебра, висмута, кадмия, цинка и меди.

Районы с высоким содержанием органических веществ в грунтовых водах преимущественно тяготеют к заболоченным, сельско- и лесохозяйственным территориям региона. Характер загрязнения подземных вод зависит от вида хозяйственной деятельности человека. В целом на урбанизированных и промышленно освоенных территориях грунтовые воды содержат железо,

марганец, хром, свинец, медь, цинк, кобальт, а также анионы сильных и слабых кислот (сульфаты, хлориды, нитраты и гидрокарбонаты), следы нефтепродуктов и фенолов. При этом сильно изменяются рН и минерализация вод. Возрастает и агрессивность их к карбонатам, бетону и арматурной стали.

Вблизи свалок и мест сброса сточных вод грунтовые воды помимо прочих элементов содержат аммиак, углекислоту и другие метаболиты. Особую опасность для здоровья людей представляет бактериальное загрязнение этих вод.

В районах добычи фосфоритов в грунтовых водах присутствуют продукты выщелачивания фосфогипса и пиритных огарков, содержащихся в отвалах. В случаях перетока таких сильно загрязненных вод в глубокие слои карбона наблюдалось локальное увеличение минерализации вод этого горизонта до 2 г/л. Вообще на участках, где юрские глины, защищающие глубокие водоносные горизонты, отсутствуют или сплошность их нарушена, избежать загрязнения при перетоке приповерхностных вод очень трудно. Ухудшение качества артезианских вод в районе станции Купавна, а также Щелкова, Мытищ и в других местах Подмосковья, как правило, связывалось с деятельностью конкретного промышленного объекта, но при этом далеко не всегда учитывали обязательный факт нарушения сплошности глин юрского водоупора.

Вместе с тем санитарное состояние многих открытых водоемов и рек за последние 10—15 лет заметно улучшилось. За годы XI пятилетки сброс неочищенных сточных вод в Подмосковье уменьшился, а оборотное водоснабжение увеличилось при общем сокращении потребления питьевой воды на технические нужды. Только в Москве на пути нефтесодержащих стоков работают 1500 очистных сооружений. Значительно улучшилось качество речных вод. Известен случай примерно 20-летней давности, когда в районе Тушина подожгли небольшую протекающую здесь речушку, которая горела три дня. Теперь такой случай невозможен. Воды рек и ручьев стали чище, что не может не сказаться на улучшении качества подземных вод, в том числе глубоких водоносных горизонтов.

## **Изменения геодинамической обстановки**

Экзогенные геологические процессы во многом зависят от гидрогеологических условий. Так, стабилизация оползней на Ленинских горах нередко связывается с уменьшением влажности деформируемых глин вследствие снижения пьезометрических уровней артезианских вод карбона и в конечном счете отрыва этих вод от верхнего водоупора и дегидратации верхних слоев водовмещающего горизонта. Замедление роста оврагов на обширной территории за последние 20—25 лет, возможно, объясняется увеличением мощности зоны аэрации вследствие перетекания грунтовых вод в нижние горизонты. Повышение емкости

этой зоны способствовало увеличению инфильтрации атмосферных вод с соответствующим уменьшением стока по оврагам.

Наблюдаемые в оврагах ступени также могут свидетельствовать о скачкообразном снижении уровней грунтовых вод, разгружающихся по тальвегам этих оврагов.

Современные изменения экзодинамической обстановки подразделяются на две группы: 1) региональные, вызванные региональными и глобальными изменениями климата, речного стока и режима подземных вод; 2) локальные, вызванные конкретными инженерно-хозяйственными объектами. Масштабы таких объектов различны: от города до бензоколонки. Главное, что такой объект и вмещающая его среда укладываются в рамки природно-техногенной системы с более или менее четкими пространственными границами.

Региональные изменения естественных геологических процессов довольно трудно выделить в чистом виде. Они накладываются в виде фона на сложную совокупность экзогенных процессов, о чем необходимо помнить, выделяя естественные процессы в естественных условиях. Во многом такие изменения не выходят за рамки предположений, так как и о самих климатических изменениях последних лет идут споры. Но имеются факты регионального изменения обводненности территории. Так, за последние 25—30 лет заметно снизилась водность рек, за исключением искусственно пополняемых, что не могло не отразиться на русловых процессах и евтрофикации. Региональное преобразование почв и растительности сказывается на условиях заболачивания и эрозии земель Подмоскovie, а повсеместное использование химических удобрений, смыв отходов и навоза с территории вызывают вспышки евтрофикации на реках и озерах. Такая активность зарастания водоемов отмечалась в Мещере, в частности на древних озерах Исихра, Котлино, Святое и по рекам Поля, Бужа, Колна, Судогда и Гусь. Зарастание озер и рек чревато подтоплением прибрежных территорий в связи с сокращениями объемов водных потоков, озер-водоприемников и испарителей.

Локальные изменения значительно ярче, и для каждого инженерного и хозяйственного объекта они имеют свои особенности. В качестве примера рассмотрим крупные объекты, каждый из которых легко может быть разделен на элементарные составляющие.

Лесохозяйственные земли сменили естественные леса Подмоскovie. Даже заповедники и заказники испытывают влияние региональных изменений и опосредствованное воздействие соседних ПТС. На аэрофотоснимках хорошо выделяются следы искусственных лесных насаждений даже там, где на местности они выглядят, как естественные лесные массивы. Дороги, тропы, таксационные просеки и вырубki давно стали привычным элементом лесных ландшафтов.

Сельскохозяйственные ПТС в силу исторически сложившихся обстоятельств отличаются сильнейшими и необратимыми изменениями природной составляющей.

Сведение лесов и распашка резко активизируют процессы эрозии там, где уклон поверхности больше  $3^\circ$ . Определенную роль при этом играют снижение связности пород и грунтовых агрегатов, в которых уменьшается количество связующей органической составляющей, и заметное (в 2—3 раза) увеличение доли поверхностного стока в общем балансе стоковых вод.

На пахотных землях подмосковных равнин заметно преобладание эрозионных форм мелкого заложения — борозд. В какой-то мере это объясняется общим увеличением глубин сезонного промерзания, что особенно характерно для суглинков: снег на открытых местах сходит быстрее, чем успевают оттаять грунты, и сток воды в период наиболее активного размыва происходит по кровле мерзлых пород. Несмотря на это, заовраженность пахотных земель в целом больше, чем земель с теми же геолого-гидрогеологическими условиями, но покрытых лесной растительностью. В районах с расчлененным рельефом заовраженность пашни больше, чем заовраженность лесов на 26—29 % (Приокская низменность, Клинско-Дмитровская гряда), а на плоских заболоченных территориях разница составляет 7—16 % (Мещера, Верхневолжская низменность).

Рост оврагов и эрозия пахотных угодий сочетаются с пахотной нивелировкой мелких неровностей рельефа, что особенно наглядно проявляется при сравнении участков пахотных угодий с различием в сроках освоения в 50—70 лет (в Подмоскowie сохранились пахотные угодья, возраст которых превышает 200 лет). По нашим наблюдениям, сухие карстовые воронки южного Подмоскovia глубиной до 2 м и диаметром 15—20 м полностью запахивались и сглаживались в рельефе за 15—18 лет.

Прогрев пашни стимулирует высыхание неглубоких болот, и нередко только «просвечивающие» на аэрофотоснимках участки сезонного переувлажнения напоминают о них.

Особого разговора заслуживают изменения состава почв, грунтов и грунтовых вод сельскохозяйственных земель, особенно вблизи животноводческих комплексов, на мелиорируемых и интенсивно удобряемых землях.

Выше мы говорили о процессах, возникающих при распашке земель. Но рост площадей пахотных земель в Подмоскowie практически прекратился. Кроме того, и на пахотных землях, начиная с 1930-х гг., заметно усилилась борьба с овражной эрозией, что привело к сокращению числа растущих оврагов. Однако распашка пойм, принявшая массовый характер в 1960-х гг., вновь привела к активизации овражной эрозии по бортам и террасам речных долин.

Гидротехнические системы (каналы, водохранилища) и зарегулированные участки рек давно стали привычным элементом ландшафта Подмоскovia. Практически вся речная сеть Москов-

ского региона вполне может рассматриваться как сложная гидротехническая (водохозяйственная) полисистема. Ее искусственные элементы функционально связаны с реками, режим которых изменен многочисленными плотинами, а русла нередко спрямлены и обвалованы. Водоотбор, сброс поливных и технических вод, высыхание питающих болот, инверсия питания и разгрузки вод подземных горизонтов заметно влияют на водность рек региона.

Два крупных канала пересекают земли Подмоскovie севернее столицы. Старый, построенный в XIX в. канал, соединявший Москву с Волгой, заброшен, а питавшее его водохранилище — Сенежское озеро — реконструировано и служит рекреационным целям в черте Солнечногорска. Водность р. Сестры как части старого канала сильно снизилась, и сейчас уже трудно себе представить, что когда-то по ней ходили довольно крупные грузовые барки.

Действующий 128-километровый канал — это многоцелевое, удачно вписанное в естественный ландшафт сооружение, используемое для дополнительного водообеспечения региона, энергоснабжения, рекреации и судоходства. Канал проложен в искусственно углубленном или приподнятом ложе со спланированными, обсаженными кустарниками и деревьями склонами. Местами, как например на участке севернее Дмитрова, ложе канала нарушило режим стока болотных вод, что проявилось в растекании болот с одной стороны нитки канала и их высыхании с другой.

Берега канала страдают от механического нарушения кладки отдыхающими или причаливающими судами, после чего абразия продолжает процесс разрушения. Отмечаются абразионные ниши длиной до 5 м. Только на участке за Икшей на берегах канала встречаются по три-четыре абразионные ниши на 1 км.

Равнинные водохранилища окружены широкими зонами подпора грунтовых вод и подтопления. Берега водохранилищ проходят через стадию формирования в новых, искусственно созданных условиях.

В первые годы эксплуатации водохранилища процессы разрушения берегов наиболее активны. Но активна и биогенная аккумуляция — процесс во многом альтернативный берегоразрушению. Высокая продуктивность фитопланктона (диатомовые, зеленые, хлорококковые и вольвоксовые водоросли), масса которого колеблется от 3 до 5 г/м<sup>3</sup> (Можайское водохранилище, 1970 г.), обуславливает в первые годы значительное количество осадков, особенно на глубинах до 1 м от поверхности (изменение фотосинтеза по вертикали). Примерно через 20 лет эксплуатации аккумуляция снижается в связи со стабилизацией экосистемы. Вдольбереговой аккумуляции способствуют малые скорости стоковых течений всех водохранилищ Москворецкой системы. Даже ветровые течения из-за извилистости берегов во-

## Типы берегоформирования водохранилищ Подмосквья

Водохранилище	Год заполне- ния	Типы берегов, %			
		Абразионные	Аккумуля- тивные	Нейтраль- ные	Искусст- венные
Клязьминское	1937	13 (0,7—1,3)	23	49	15
Химкинское	1937	1,5 (1,5)	—	—	50
Истринское	1935	22 (0,9—1,2)	50	26,5	1,5
Иваньковское	1937	7 (—)	67	21	5
Икшинское	1937	1 (0,1—1,5)	31	39	29
Пестовское	1937	7 (—)	25	51	17
Пяловское	1937	2 (—)	67	7	24
Учинское	1937	2 (—)	49	36	13
Рузское	1966	10 (—)	43	46	1
Озеринское	1967	18 (—)	50	30	2
Можайское	1962	12 (—)	9	77	2

Примечание Для абразионных берегов в скобках приведены средние значения скорости отступания берегов м/год

доемов не превышают 15 см/с. Благодаря седиментации взвешей водохранилища аккумулируют около 90 % годового твердого стока своих притоков.

Формирование отмели связано здесь и с колебаниями уровней — наибольшими (4—7 м) на Можайском и Рузском водохранилищах и наименьшими (1,2—4 м) на Озернинском и Истринском водоемах.

И старые водохранилища Подмосквья (Истринское, Ивановское и др.), и молодые (Верхне-Рузское, Рузское, Озернинское и Можайское) проходят стадию стабилизации процессов формирования ложа и берегов. На всех этих водохранилищах аккумулятивный тип берегов преобладает, а разрушающиеся, подмываемые и абрадируемые берега постепенно стабилизируются (табл. 13). Активность переработки берегов на разных участках водохранилищ заметно различается. Так, на Рузском водохранилище интенсивность отступания берега в срединной части примерно в 2 раза меньше, чем вблизи плотины. В хвостовой части водоема прослеживаются проявления боковой эрозии, более характерной для рек, чем для водохранилищ.

С течением времени интенсивность берегоразрушающих процессов снижается. Например, на Можайском водохранилище за первые 10 лет его эксплуатации величина отступания берега достигла 23 м, а в последующие 10 лет — не превысила 20 м. Более показательно сопоставление величин суммарной протяженности берегов различного типа на разных стадиях существования водохранилища. На том же Можайском водохранилище длина абразионных берегов в 1969 г. составляла 20 % общей протяженности, а в 1985 г. сократилась до 12,5 %.

Со временем процессы разрушения берегов все больше локализуются. При этом темпы отступления на таких локальных участках нередко остаются высокими. На старом Икшинском водохранилище вблизи Хлябовской перемычки за период 1973—1983 гг отступление составило 1,5 м. Аналогичное явление наблюдалось на Истринском водохранилище, где берег, по данным измерений за 1981—1985 гг, на отдельных участках отступал со скоростью 1—1,2 м в год.

Болота в зоне подтопления отличаются неустойчивым режимом обводненности, зависящим при условии их гидравлической связи с водохранилищем от режима и технологии его эксплуатации и санитарной очистки. В той же зоне донная эрозия по овражно-балочной сети снижает свою активность, а устья оврагов и балок нередко превращаются в заливы с характерным биоценозом, устойчивым к значительному колебанию уровня вод. Вместе с тем можно наблюдать активизацию процессов бороздковой эрозии, проникающей на 100—150 м и более в глубь склона и характеризующейся сезонными рецидивами, затрудняющими борьбу с этим процессом. По ним легко отбить границы зоны влияния гидротехнической системы на береговые ландшафты, для водохранилищ Московского региона и для канала эта зона редко превышает 0,5 км.

Все реки региона испытывали техногенное влияние и несут следы изменения режима. Это связано с региональным изменением распределения атмосферных осадков и с инверсией подземных вод, ранее разгружавшихся по долинам рек, а теперь питаемых речными водами. В последнее время все чаще приходится сталкиваться с инженерной реконструкцией долинных ландшафтов, которая раньше была характерна в основном для крупных городов. Так, в Москве из 510 км русел рек 290 км приходится на взятые в трубы и засыпанные. Теперь засыпка русел рек практикуется и за пределами Москвы. Примером может служить р. Банька, долина которой в черте Красногорска спланирована, а над руслом, взятым в коллектор, возведены промышленные корпуса. Выше по течению над сходным коллектором поставлен склад горючесмазочных материалов. Нельзя не отметить, что подобного рода строительство экологически нецелесообразно: во-первых, живописные долинны ландшафты просто несовместимы со складом, во-вторых, он возведен именно там, где загрязняющие вещества поступают прямо в реку и убересть ее от загрязненных нефтепродуктами стоков практически невозможно.

Эрозия в городских условиях может рассматриваться как сигнал того, что в архитектурных решениях по планировке рельефа допущены просчеты и системы дренажа недостаточно эффективны. Эрозионные борозды активизируются чаще всего весной и осенью, деформируя покрытие дорог и тротуаров.

Карст и оползни в условиях города опасны внезапностью своего проявления. Особую тревогу вызывают проявления по-

гребенного карста, поскольку предугадать конкретное место образования воронки практически невозможно.

Снижение пьезометрического уровня на 10 м ведет к росту давления вышележащих пород на водоносные толщи на 0,1 МПа. При наблюдаемом в Москве снижении пьезометрических уровней увеличение давления рыхлой массы, залегающей над пораженным карстом известняками, может привести к обрушению кровли над крупными водозаборами. Для городских территорий характерны и такие процессы как техногенная суффозия и тиксотропное течение грунтов; просадки поверхности из-за изменения увлажнения и температурного режима грунтов, их дегидратации, разложения органики и уплотнения.

Техногенная аккумуляция и накопление антропогенных отложений (культурного слоя) происходят в различных городах с разной скоростью. В небольших городах Подмоскovie мощность антропогенных накоплений колеблется от 1 до 4 м, резко возрастающая в местах засыпки старых карьеров, оврагов и на участках старых свалок до 25 м и более. Слой искусственных грунтов, входящий в контасону, отличается трудно учитываемым разнообразием состава и его пространственными изменениями. Здесь можно встретить глины, суглинки, пески, обломочные отложения и отходы производства (шлаки, золы, мусор, бытовые отходы и т. д.). По подсчетам М. И. Хазанова, человек в городе оставляет в среднем 0,8 м<sup>3</sup> бытовых и прочих отходов в год. Ф. В. Котлов подсчитал, что за всю историю Москвы в ней было перемещено более 211 млн. м<sup>3</sup> грунта.

Искусственные грунты включают перемещенные породы (экавазация, намыв, планировка рельефа) и искусственные образования: свалки бытовых и хозяйственных отходов, побочные продукты-отходы производств (шлаки, золы, формовочные земли и др.). Процесс самоуплотнения бытовых свалок длится от 10 до 30 лет и сопровождается проседанием поверхности.

Геологическая среда городов отличается тем, что ее экзогенные процессы активно подавляются, так как практически всегда с ними связана опасность для человека: укрепляются оползневые склоны (Москва, Зарайск), заполняются песчано-цементной смесью, колымаются и заполняются карстовые пустоты (Подольск), засыпаются овраги. Хотя при этом активизируются процессы суффозии и выветривания, верхняя часть литосферы, пропизанная коммуникациями и фундаментами сооружений, с измененным водным режимом и наведенными геофизическими полями не может считаться естественным (даже с поправкой на «измененность») образованием, но и искусственной средой ее назвать нельзя. По сути это новая зона, где искусственная и природная составляющие столь тесно энергетически связаны, что могут оцениваться как единая система.

Добыча полезных ископаемых в Московском регионе ведется открытым способом. Подземные штольни остались в районах старой добычи известняка, доломита и песчаника южнее Моск-



вы в низовьях Пахры вблизи сел Зеленая Слобода, Константинов овраг, Мячково и др. В этих штольнях продолжаются процессы карстообразования, над их многокилометровыми ходами нередко можно наблюдать системы старых просадок и воронок, глубина которых иногда превышает 1,5 м. Подземные выработки создают опасность просадки, провалов и деформации сооружений, расположенных в зоне их воздействия, и влияют на устойчивость массива пород в целом.

Карьеры и котлованы как новые формы рельефа после завершения их эксплуатации проходят этап стабилизации, для которого характерны активные процессы эрозии, осыпания, оползания и выполаживания бортов, заозеривания и заболачивания днища. Естественное восстановление нарушенных ландшафтов иногда дает хорошие результаты, если не мешать этому позитивному процессу. Вблизи канала им. Москвы у с. Татищева в старых песчаных карьерах после завершения добычи песка образовался живописный пруд с холмистыми, поросшими крупностовольным лесом берегами — любимое место отдыха многих жителей Дмитрова.

Старые карьеры, созданные в период строительства канала им. Москвы (1932—1937 гг.), через 50 лет после окончания их эксплуатации приняли облик естественных понижений и склонов, и только литологическое несоответствие перемещенных вскрышных пород указывает на их искусственное происхождение.

В местах добычи полезных ископаемых выделяются зоны разработки, складирования, технического обеспечения и подсобно-канторских служб, каждая из которых по-своему влияет на окружающую среду.

Своеобразный ландшафт остается после добычи фосфоритов. Сухие отвалы, чередующиеся с межотвальными участками подтопления, требуют проведения при рекультивации планировочных работ. Вскрышные породы песчано-гравийных карьеров иногда сбрасываются в балки, овраги и долины небольших рек. Такой водоупор чехлом закрывает песчаные склоны и пробивается разгружающимися в долину грунтовыми водами, а при изменении гидрогеологических условий и усилении гидродинамического давления приходит в движение. Примером может служить Икшинский оползень 1985 г. Сходные оползни наблюдались в 1987 г. на отсыпной гряде перемещенных вскрышных пород вблизи Дмитровского песчаного карьера. В обоих случаях причина заключалась в игнорировании необходимости оценки геологического риска строительства до начала катастрофических подвижек пород.

Самые крупные потери земель в Московском регионе связаны с торфоразработками. По данным Ю. Б. Елисеева, Н. И. Лебедевой, Т. Г. Поргновой и Т. Ю. Зенгиной и др., площади нарушенных добычей торфа земель в 1986 г. составили примерно 59 тыс. га. Не исключено, что эта цифра занижена и не вклю-

чает некачественно рекультивированные земли, пораженные вторичными процессами заболачивания.

Современная фрейзерная добыча торфа оставляет ровные, прорезанные густой сетью дренажных канав поля. В ходе разработки торфа дренаж этих участков, как правило, принудительный. После рекультивации земель именно здесь часто развиваются процессы вторичного обводнения — заболачивания. Такое заболачивание проявляется далеко не сразу. Примерно после двух лет самовосстановления на аэрофотоснимках возникает облик (структура) будущего ландшафта с его болотами, грядами, озерами-испарителями и путями стока (перетока) вод. Этот «срок доверия» позволяет построить процесс рекультивации так, чтобы он помогал естественным силам самовосстановления системы, а не вступал с ними в противоречие.

Длительное время практиковавшийся способ гидродобычи торфа оставил после себя заозеренную и заболоченную территорию, где озера и болота разделяются довольно высокими песчаными грядами и валами, покрытыми лесом. Мелководные озера хорошо прогреваются и довольно быстро зарастают, превращаясь в болота. За 10 лет зона (клинья) зарастания на таких озерах увеличивается на 20—30 м, пока кислородная недостаточность водоема и переход к евтрофикации не снизят эти темпы.

Активное зарастание по дренажным канавам и оползание торфа по их бортам довольно быстро выводят всю дренажную систему из строя. Участки торфоразработок, оставленные на произвол судьбы, за 50—60 лет возвращаются к начальной стадии болотообразования. Так, одно из Шатурских болот — Красный мох, возникшее на месте торфоразработок 1910—1930 гг., в наше время почти не несет следов искусственного снятия торфа, превратившись в систему болот и заболоченных лесов.

Принцип классификации геологической среды и техносферы по крупным природно-техногенным составляющим не учитывает точечные и линейные элементы техносферы с довольно обширными зонами их влияния. Так, процессы заболачивания, эрозии и оползания пород сопутствуют дорожному строительству. В литературе часто можно встретить термин «вдольдорожное заболачивание», характеризующий не только тип процесса, но и особую загрязненность созданных им образований: болотных вод и растительности. Подобного рода геологические процессы нередко связаны с плохим состоянием дренажных канав или подрезкой оползнеопасных склонов.

Потери земель при вдольдорожном заболачивании никто не подсчитывал. На одном из семинаров Географического общества СССР была названа цифра 20 тыс. га. Возможно, она завышена, но дело даже не в потерях земель, хотя и они нежелательны. Воды и фитомасса таких болот принимают на себя большое количество канцерогенов, содержащихся в выхлопных газах автомашин. Эти газы, по подсчетам специалистов, содер-

жат около 200 химических соединений, из которых 170 ядовиты. Интенсивность же движения транспорта по основным магистралям региона весьма высока: так, только Московская кольцевая автодорога пропускает около 50 тыс. машин в сутки

Современные изменения геологической среды всегда имеют конкретные причины, но сливаясь и резонируя, они преобразуются в мощный процесс формирования и переформирования той части окружающей среды, которая определяется нами понятием «геологическая» и является частью биосферы, связанной с ее элементами массо- и энергообменом. О роли социальной культуры (в этнографическом смысле) в развитии и преобразовании геологической среды говорит тот факт, что все внешнее воздействие рассматривается как антропогенное, в то время как природные геологические процессы постепенно переходят в разряд инженерно-геологических.

### **Оценка состояния геологической среды региона**

По классификации В. Е. Соколова и Б. В. Виноградова [32] Московский регион представляет собой трансформированную, полуприродную «экотехническую» систему. В ней довольно четко выделяется контазона, которая может рассматриваться как основной показатель именно таких систем. Все техногенные изменения геологической среды региона определяются, с одной стороны, воздействием техносферы, а с другой, составом и строением этой среды, степенью устойчивости ее к техногенным нагрузкам и защищенностью подземного пространства от загрязнения с поверхности. Современное состояние геологической среды зависит от всех перечисленных выше особенностей и в каждой из выделенных инженерно-геологических областей региона имеет свои отличия.

Современное состояние геологической среды Верхневолжской равнины определяется тремя факторами: 1) выдержанным по площади покровом моренных суглинков московского возраста; 2) развитием юрского водоупора, защищающего водоносные комплексы карбона от внешнего загрязнения и препятствующего проявлению погребенного карста на поверхности; 3) наличием глубоко врезанных в толщу карбона древних постюрских долин, прорезающих юрский водоупор.

Выдержанные по простиранию коричневые и красно-бурые плотные известковистые суглинки московской морены со щебнем, галькой и валунами имеют многочисленные прослои и линзы алевритов и песков. Таким образом, с одной стороны, они являются довольно надежным водоупором, а с другой, воды, содержащиеся в линзах и прослоях песков, нередко используются населением и садоводами для питьевых нужд или полива небольших участков.

В ряде мест суглинки московской морены залегают непосредственно на суглинках днепровской морены или отделены от них

днепровско-московскими флювиогляциальными песками. Эта мощная толща суглинков на западе Верхневолжской равнины служит региональным водоупором (кровлей) для водоносных комплексов карбона и в то же время препятствует проявлениям карста на поверхности.

Келловей-кимериджские глины залегают здесь непосредственно под четвертичными отложениями или отделяются от них (по древним водоразделам) волжскими и меловыми песками. Глины прочные, пластичные, местами известковистые. По древним долинам глины юрского водоупора размыты и замещены водопроницаемыми, преимущественно песчаными флювиогляциальными суглинистыми моренными отложениями. Таковы прadolины Лутосни, Яхромы и Сестры. В районе Талдома в широтном направлении уходит за пределы области пра-Дубна. Ширина ее долины достигает 7 км. В западном направлении юрские глины постепенно выклиниваются.

Грунтовые воды на большей части территории залегают вблизи поверхности, опускаясь местами до 5 м. Подземные воды глубоких горизонтов карбона на востоке территории изолированы, а на западе и по древним глубоким долинам нередко гидравлически связаны с водами мезо-кайнозойского комплекса.

Нарушения геологической среды носят здесь преимущественно приповерхностный характер. Прежде всего это касается болот и торфяников. На обширных территориях западной части Верхневолжской равнины неглубокие болота распаханы и осушены, как путем мелиорации, так и в процессе самоосушения при распашке. Создание канала им. Москвы вызвало значительные смещения границ болотных систем. На востоке территории обширные земли нарушены торфоразработками, и в настоящее время их экологический потенциал (сельско- и лесохозяйственный, рекреационный) не достиг планируемого уровня. Мелиорация серьезно изменила состояние пойменных земель. Осушение Яхромской поймы сопровождается разгрузкой водоносных горизонтов карбона и сбросом чистейших вод в реки и ручьи, впадающие в Волгу. На самом севере области заметно влияние старого Ивановского водохранилища, подтопившего обширную зону прибрежных земель и способствующего развитию процессов евтрофикации в многочисленных заливах и подпертых устьях рек и ручьев.

Мещерская аллювиально-зандровая равнина сложена аллювиальными и флювиогляциальными песками, которые на обширных территориях перекрыты торфом и молодыми болотными накоплениями. Эти пески и болотные отложения залегают на днепровских моренных суглинках, реже — на песках верхней юры и нижнего мела.

Днепровские моренные суглинки отличаются высокой плотностью, слабая водопроницаемость и большое содержание обломочного материала.

На инженерно-экологическую обстановку Мещеры влияет почти повсеместное развитие юрских глин, перекрытых сверху меловыми и четвертичными отложениями. Мощность этих глин непостоянна, местами они прорваны, и по долинам рек Клязьмы и Москвы и их левобережных притоков аллювиальные пески залегают непосредственно на карбонатных и глинисто-мергелистых породах каменноугольного возраста. Несмотря на столь широкое развитие глин юрского регионального водоупора, в Мещере нередко проявления карста в виде озер, заболоченных понижений и воронок.

Известняки Мещерской равнины довольно плотные, доломитизированные. Глинистые слои мощностью до 8 м изолируют расположенные ниже горизонты от распространения загрязнения. Массив скальных пород нарушен системой крупных тектонических трещин, хорошо проявляющихся на космических снимках. Этим трещинам соответствуют зоны нарушения сплошности водоупорных слоев.

Одна из отличительных черт Мещерской равнины — неглубокое залегание грунтовых вод, лишь изредка опускающихся до 7 м. На участках размыва юрского водоупора в долинах рек воды мезокайнозойских отложений гидравлически связаны с водами глубоких горизонтов, что приводит к загрязнению этих горизонтов органикой.

Основные изменения геологической среды Мещеры вызваны торфоразработками, хотя наиболее глубокие и интенсивные нарушения наблюдаются на участках добычи фосфоритов в районе Егорьевского плато. В настоящее время состояние геологической среды близко к устойчивому с процессами самовосстановления практически на всех, даже рекультивированных и освоенных землях бывших торфоразработок. Это свидетельствует о том, что экологический потенциал таких земель не достиг оптимального значения. Даже на крупной мелиорированной Дединовской пойме геологическая среда в зоне аэрации подвержена процессам, снижающим эффективность существующей системы мелиорирования.

Сельскохозяйственное освоение земель Мещеры и сопутствующее ему внесение химических и органических удобрений активизировали процессы зарастания, евтрофикации, внутренних водоемов региона. Во многих из них нарушено равновесие сложившихся гидробиоценозов, в связи с чем интенсифицировались заболачивание и торфообразование. Вместе с тем сокращается площадь активного плоскостного смыва и развевания песков и торфа.

Смоленско-Московская возвышенная моренная равнина отличается тем, что на западе ее юрский водоупор отсутствует, а на востоке он выдержан и достаточно монолитен.

По всей территории здесь развиты покровные суглинки. Эти тяжелые алевроитистые, местами лёссовидные образования мощ-

ностью до 14 м, распространены и далее к югу, включая заокские земли. В них встречается до двух горизонтов погребенных почв.

Другая характерная особенность описываемой области — повсеместное развитие суглинков московской морены, иногда перекрытых флювиогляциальными или аллювиальными песками. В восточной части Смоленско-Московской возвышенности московская морена вниз по разрезу сменяется суглинками днепровской морены, иногда отделенными от нее песками, отложившимися в период днепровско-московского межледниковья.

Моренные отложения, особенно на западе области, предохраняют нижележащие водоносные горизонты от загрязнения, а также защищают поверхность территории от процессов, связанных с глубинным (погребенным) карстом. С севера на юг свойства московской морены постепенно меняются: уменьшается плотность пород, увеличивается их опесчаненность и снижается прочность.

Своеобразный тип строения геологической среды на северо-востоке возвышенности связан с сохранившимися здесь меловыми отложениями, в частности с опоками и трепелами сантона, в которых встречаются прослои тугопластичных глин, песков и песчаников. В сухом состоянии эти породы служат надежным основанием для любых сооружений, но при водонасыщении их прочность на сжатие снижается в 10—15 раз и они приобретают пластичность.

В разрезе здесь присутствуют и нижнемеловые парамоновские глины, пластичные и склонные к оползневым деформациям там, где они вскрываются оврагами и балками, в частности на Клинско-Дмитровской гряде.

Юрские глины, образующие региональный водоупор, высокопластичны, иногда довольно пористы (нижневолжские) и склонны к размоканию во влажной среде. С волжскими и оксфордскими глинами связаны оползни на территории Москвы. Породы позднего карбона на востоке области сильно закарстованы. С этими породами связан и карст Москвы. По некоторым сведениям, карстовые полости занимают в них до 60 % всего пространства. Западнее линии Наро-Фоминск — Руза — Волоколамск кровлю каменноугольных отложений слагают породы московского яруса. Здесь же, особенно ближе к югу области, выделяются небольшие участки, где на глубине 30—40 м под толщей четвертичных отложений скважинами вскрыты породы верейского горизонта среднего карбона и протвинского горизонта нижнего карбона. Это глинистые образования мощностью до 30 м, плотные, с прослоями песков и песчаников, довольно устойчивые и не подвержены активному карстованию. Иногда здесь встречаются прослои доломитизированных, массивных, слабо кавернозных известняков или мергелей мощностью не более 3 м. На этих участках, несмотря на отсутствие региональ-

ного водоупора, нижние водоносные горизонты надежно защищены от загрязнения.

На участках, где верейские глины размыты и протвинские известняки перекрыты лишь слоем четвертичных отложений, возможно загрязнение водоносных горизонтов карбона при условии перетока вод из вышележащих горизонтов в нижние этажи литосферы (в пределах геологической среды).

В морене развиты воды спорадического распространения. В зонах тектонических нарушений по долинам рек возможно загрязнение водоносных горизонтов карбона там, где их защищенность недостаточна.

Общее состояние геологической среды довольно неустойчивое. Если на западе области это связано со снижением водности рек вследствие несбалансированности мероприятий по хозяйственному использованию земель и охране природы, то вблизи Москвы и далее на северо-восток вызывают тревогу снижение уровней эксплуатируемых водоносных горизонтов, загрязнение грунтовых вод и ухудшение качества (загрязнение) питьевых вод глубоких горизонтов карбона.

Осложняют инженерно-геологическую обстановку и «неожиданные» техногенные оползневые подвижки с разрушением строений (например, в Дмитрове в 1987 г.) и человеческими жертвами, несущие угрозу историческим памятникам.

Москворецко-Окская моренно-эрозийная равнина занимает обширнейшее междуречье Оки и Москвы-реки. Для нее характерны умеренные поднятия, начало которых приходится на поздний олигоцен.

Все те же покровные суглинки покрывают все водоразделы и их склоны. Геолого-литологическое строение территории отличается здесь наибольшим разнообразием по сравнению со всеми остальными инженерно-геологическими областями.

В разрезе отмечается выдержанный горизонт плотных, слабопроницаемых, довольно прочных днепровских суглинков, перекрываемых местами флювио- или лимногляциальными, преимущественно песчаными отложениями. В особый тип строения геологической среды выделяются территории, где над днепровской мореной залегает московская, часто отделенная от нее днепровско-московскими флювиогляциальными песками. Общая мощность четвертичных отложений небольшая.

Юрские глины имеют здесь островное распространение. При этом на севере Москворецко-Окской равнины они еще сохранили свою сплошность, нарушаемую лишь древними врезами, но к югу и юго-западу вблизи Оки и Нары региональный слой (плотик) постепенно распадается на небольшие островки. Обширные площади древних водоразделов и склонов заняты известняками и доломитами среднего карбона, находящимися на глубинах 90—100 м на севере инженерно-геологической области и на глубине 20 м вблизи долины Оки. Современные реки Ока,

Северка, Каширка, Нара и другие паследуют здесь доледнико-вые ложбины.

Близкое к дневной поверхности залегание пород карбона привело к значительным ее нарушениям и проявлению карсто-во-суффозионных и карстово-провальных форм, причем нередко известняки и доломиты карбона служат основаниями для зданий и сооружений.

В долинах рек на участках сплошного развития карста четвертичные водоносные горизонты гидравлически связаны с каменноугольными. Здесь происходит загрязнение глубоких вод, которое не раз отмечалось при обследовании в ходе их эксплуатации.

Общее состояние геологической среды Москворецко-Окской равнины довольно неустойчивое. Глубокие и обширные депрессии уровней вод глубоких горизонтов карбона, имеющих многочисленные локальные гидравлические связи с водами четвертичных отложений, без сомнения, отражаются на всех экзогенных геологических процессах, во многом определяющих инженерно-геоэкологические условия этой части региона.

Активное водопотребление в зоне питания подземных горизонтов водами Оки, вероятно, сказывается и на режиме самой реки, и на процессах формирования ее русла.

Неустойчивое состояние среды связано не столько с необратимостью техногенеза геологической среды, хотя она (необратимость) и имеет место, сколько с «неожиданностью» многих геоэкологических<sup>1</sup> процессов: эрозии, карста, оползневых подвижек, загрязнения подземных вод и грунтов зоны аэрации.

Заокское эрозионное плато относится к области современных слабых поднятий, начавшихся в позднем олигоцене Днепровские моренные суглинки, перекрытые чехлом покровных отложений, распространены довольно широко, но часто разорваны современной густой эрозионной сетью. Залегают они на песчаных отложениях окско-днепровского горизонта или на песках верхней юры и нижнего мела. Встречен здесь и такой тип строения четвертичных отложений в пределах погребенных древних долин, когда под окско-днепровскими песками лежат легкие опесчаненные суглинки окской морены мощностью до 10 м.

Несмотря на широкое распространение юрских водоупорных глин, из-за сравнительно небольшой мощности всего чехла над-карбонных рыхлых отложений они нередко прорваны современными оврагами, долинами рек и ручьев, и в этом случае мы имеем дело с таким типом строения геологической среды, когда карстоопасные известняки карбона выходят на поверхность или отделены от нее небольшим слоем песков. Поэтому активные карст и оползни весьма типичны для заокских земель.

---

<sup>1</sup> Геологические процессы, прямо отражающиеся на экологии среды в настоящее время



Эти земли в основном сельскохозяйственные, поэтому состояние геологической среды не вызывает больших опасений. Некоторые опасения вызывает ее верхний слой, где слишком большой процент земель попадает в разряд геологических неудобий и активны процессы плоскостного смыва плодородных почв черноземной зоны.

Сегодняшнее состояние всей природной среды и геологической в частности определяется структурой Московской агломерации, в границах которой среда испытывает мощный энергопрессинг урбанизации, выразившийся в инженерной реконструкции ландшафта, нарастающей эксплуатации подземных вод и загрязнении подземных сфер. Это главные факторы, определяющие современные природно-технические системы, технобиогемы, формирующие контазону, теория функционирования которой и методика исследования требуют разработки.

Территория, находящаяся за пределами Московской агломерации, но в границах региона, вовлечена в основном в сельскохозяйственное и лесохозяйственное использование. Но для промышленно развитых регионов тип среды, формирующийся здесь (имеется в виду Московская область), мы относим к предурбанизационному. Во-первых, этот термин определяет мощное влияние городской агломерации, стремящейся вывести за свои пределы (но разместить как можно ближе) вредные производства и отторгающей огромные площади под рекреацию, на которых почти спонтанно возникают квазигородские условия. Во-вторых, Московская городская агломерация пока еще склонна к росту и расширению границ, так что предурбанизационные ландшафты имеют реальную перспективу перехода в урбанизационный тип.

Характерный рост агломерации по транспортным артериям сдерживается сохранением санитарных зон продуктивных лесных массивов и сельскохозяйственных земель, рекреационных территорий.

Энергия техносферы изменяет состав и качество геологической среды в прямой зависимости от ее устойчивости к техногенному воздействию.

Оценка устойчивости геологической среды Московского региона по ряду критериев отразила довольно пеструю картину различной устойчивости территории (рис. 22).

Устойчивые участки приурочены к аллювиальным и флювиогляциальным равнинам с грунтовыми водами на глубине более 2 м. Водоносные и карстоопасные толщи карбона надежно изолированы юрскими глинами. Мощная зона аэрации, свободно фильтрующая поступающие с поверхности воды, движущиеся грунтовые воды, разбавляющие и выводящие загрязненные инфильтраты, создают благоприятные условия для самоочищения геологической среды. Этому процессу способствует и развитый почвенный слой. Наибольшее число устойчивых к внешнему воздействию участков находится на Смоленско-Московской воз-



тельстве здесь необходимо проведение комплекса инженерных мероприятий по защите от неравномерных осадок, подтопления, размыва и разрушения берегов. Мелиорация пойм особенно сложна из-за небольшого перепада уровня вскрываемых вод, и здесь наиболее часто осушение земель влечет за собой переосушение соседних участков.

К среднеустойчивым отнесены заболоченные земли Мещеры и Верхневолжской равнины, прошедшие рекультивацию, так как несмотря на принятые меры в большинстве случаев они предрасположены к заболачиванию и заозериванию. Требуют защиты от подтопления при освоении и трудно поддаются мелиорации плоские участки зандровых равнин, где пески подстилаются московскими или днепровскими моренными суглинками, залегающими довольно близко к дневной поверхности. Движение грунтовых вод здесь слабое. Встречаются застойные зоны.

Другой среднеустойчивый тип геологической среды характеризуется развитием озерно-ледниковых ленточных глин мощностью от 5 до 15 м (на водоразделах). По рельефу это слабо расчлененная озерно-ледниковая равнина с плоскими заболоченными междуречьями. Озерно-ледниковые отложения залегают на днепровских моренных суглинках, перекрытых покровными суглинками. Этот тип ландшафта характерен для центральных и приокских районов Подмосковья, бассейна Северки и верховьев Пахры. Болота и общая предрасположенность территории к подтоплению и заболачиванию, неминуемые вследствие этого меры по инженерной подготовке территории определили категорию устойчивости.

На значительной площади региона развиты суглинки московского возраста мощностью 50 м и более, подстилаемые флювиогляциальными московско-днепровскими песками. На юго-западе вся эта многометровая толща четвертичных отложений залегает на среднекаменноугольных карстующихся известняках. Принято считать, что мощная толща четвертичных отложений надежно изолирует карстоопасные породы карбона, но есть и другие сведения о формах, развитых здесь и очень напоминающих карстово-суффозионные.

Московские и днепровские моренные суглинки, перекрытые покровными отложениями, озерно-ледниковых и моренных равнин Подмосковья служат водопором для инфильтрационных вод. При этом создаются условия для формирования техногенной верховодки, заболачивания и подтопления, что и наблюдается на городских территориях и вдоль транспортных коммуникаций.

Несколько иначе реагирует геологическая среда на внешнее воздействие в пределах Клинско-Дмитровской гряды и на юго-западе региона, где рельеф отличается наибольшей для Подмосковья расчлененностью и широко развиты такие процессы, как овражная эрозия и оползни. Строительство легко нарушает и без того слабоустойчивые склоны; обвалы, оползни, активи-

зация и угасание эрозии — типичная реакция геологической среды на инженерное вмешательство.

Геологическая среда со слабой, или низкой, устойчивостью отличается быстротой и активностью реакции на техногенное воздействие, а загрязнение с поверхности легко проникает на значительные глубины и достигает водоносных горизонтов карбона. Главная особенность экзогенных геологических процессов в этом случае заключается в том, что они грозят наиболее серьезными последствиями. Для Московского региона к таким процессам отнесены оползни, карстово-суффозионные, провалы и неравномерные просадки на торфах.

К категории неустойчивых относятся участки доледниковых погребенных долин, врезанных в закарстованные породы карбона и заполненных окско-днепровскими аллювиальными и флювиогляциальными песками, нередко перекрытые песчаными отложениями современных речных долин. На таких участках воды четвертичных отложений имеют прямую гидравлическую связь с глубокими водоносными горизонтами. Водоотбор и сопутствующая ему инверсия перетекания подземных вод сопровождаются карстово-суффозионно-провальными явлениями, суффозией и загрязнением глубоких горизонтов подземных вод.

Подобного рода участки тяготеют в основном к долинам рек Оки, Москвы, Клязьмы, Пахры, Северки, Нары, Протвы и Осетра. Так, в долинах Оки, Клязьмы и их притоков слабоустойчивые участки сложены среднечетвертичными флювиогляциальными песками и днепровскими моренными суглинками мало-мощными, залегающими на закарстованных известняках карбона. Глубина свежих воронок на этих участках достигает 15 м, а диаметр — 20 м. К местам скопления карстовых воронок, где они используются для захоронения отходов ферм, приурочены очаги загрязнения глубоких водоносных горизонтов. Здесь же существует опасность развития катастрофических суффозионно-карстовых провалов, а иногда и подтопления территории.

Самостоятельную группу неустойчивых участков образуют оползневые склоны. Крупные блоковые оползни, захватывающие глины верхней юры, имеют мощность до 40 м и более. Стабилизация их связана с большими трудностями. Оползни в четвертичных отложениях быстротечны и часто неожиданны. Их сход связан с разрушением и погребением под оползневыми массами легких строений.

И, наконец, низкая устойчивость отличает водонасыщенные торфы мощностью более 10 м. Большое содержание органики в водах торфяников увеличивает их биологическую и химическую активность. Строительство на таких участках требует специальных инженерных решений для обеспечения устойчивости сооружений и предупреждения неравномерных осадок.

Оценка изменений геологической среды или степени нарушения ее может быть выполнена по трехуровневой системе. Слабонарушенные земли (строго говоря, ненарушенных земель

в промышленно развитых регионах нет) наследуют состав, структуру и геологические процессы природной системы. Контатона здесь маломощна и прерывиста. Проникновение загрязняющих веществ ограничено покровом четвертичных отложений и в редких случаях юрским водоупором. Площади таких земель в Подмоскowie незначительны, они выделяются лишь на отдельных участках Московско-Смоленской возвышенности (рис. 23).

Средненарушенные (среднеизмененные) условия характеризуются почти повсеместным загрязнением грунтовых вод, ликвидацией (частичной или полной) таких процессов как заболачивание, нарушением закономерностей эволюции болотных систем и торфонакопления. Загрязнение вод глубоких горизонтов локально и быстро проходит.

Глубокие слои геологической среды почти не затронуты техногенезом. Контатона развита только в пределах городов, она маломощна, и в ней преобладает естественная составляющая. Это не может не отразиться и на экзогенных геологических процессах в плане их активизации или затухания. Внешняя часть ландшафта — растительность, поверхностные воды и микрорельеф — в значительной мере преобразована. Характер преобразований зависит от вида хозяйственного освоения. Это и посадки лесов для защиты сельскохозяйственных земель, и сведение лесов для высвобождения земель под распашку, и осушение земель при мелиорации, и их обводнение, и т. д. Если слабые нарушенные участки, как правило, не меняют своей устойчивости, то средние нарушения иногда сопровождаются ее снижением.

При сильнонарушенных условиях анализа оценки устойчивости среды с учетом новых природно-техногенных связей и компонентов обязателен. На таких землях мы сталкиваемся с мощными «сгустками» техносферы — городами, промышленными комплексами, крупными гидротехническими системами, подземными газо- и нефтехранилищами и т. д.

На контакте с техносферой геологическая среда серьезно реконструирована. В ходе такой инженерной реконструкции перемещаются и удаляются приповерхностные отложения, увеличивается мощность покрова новейших антропогенных накоплений с особыми свойствами, меняется водно-солевой режим массива, через шахты и тоннели коммуникаций шумовое, вибрационное и электрическое загрязнение распространяется в глубь массива. Возникают новые геологические процессы, которые поддерживает энергия техносферы. Эти условия и процессы часто зависят не столько от природных сил, сколько от энергии, структуры и функций техносферы, технологии ее производства. Устойчивость геологической среды в ее новом качестве зависит в этом случае от вида техносферы и глубины проникновения ее составляющих в литосферу. Сознательно или случайно человек на таких участках возбуждает целую генерацию процессов — геологических по характеру, но техногенных по условиям возникновения. Здесь

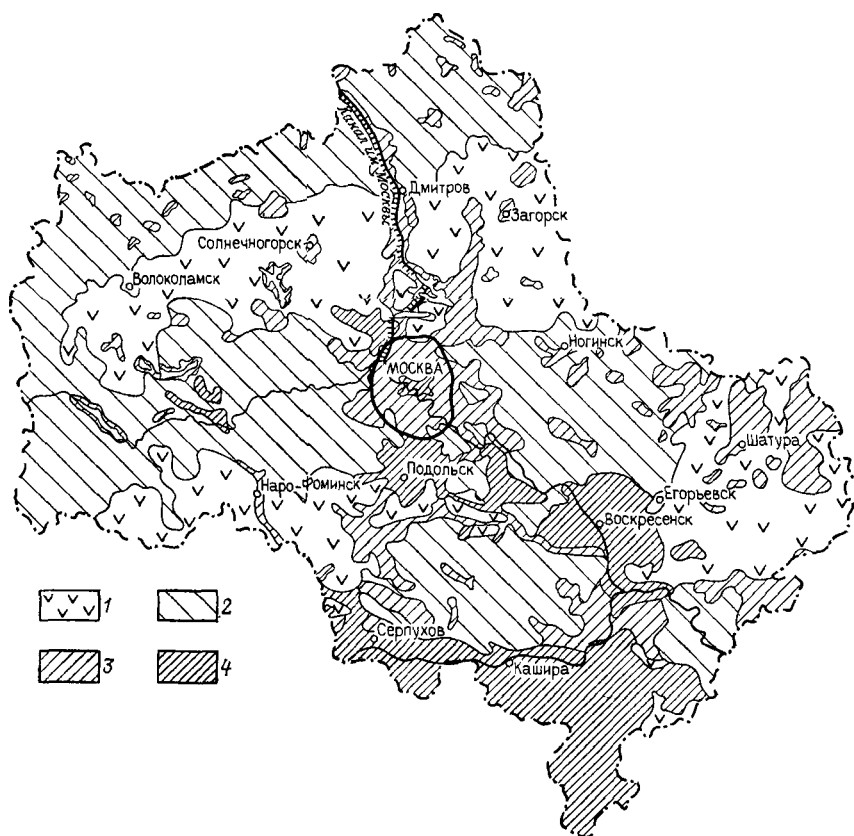


Рис 23 Степень измененности геологической среды Московского региона  
1 — слабо измененные участки, 2 — средние измененные участки, 3, 4 — сильно измененные территории в связи с инженерной реконструкцией ландшафта (3) и загрязнением среды (4)

устойчивость оценивается и как природная категория с учетом преобразований среды, и как социальная, техническая, оценка которой требует анализа технологии производства и общественных отношений.

Участки, сильно измененные техногенезом, делятся на две группы. К первой относятся территории, урбанизированные или преобразованные добычей полезных ископаемых по малоотходной технологии. На участках второй группы интенсивные преобразования связаны с комплексом инженерных мероприятий, главными из которых являются создание источников активного загрязнения подземных сфер и гидротехническое строительство. Последние влекут за собой перестройку всего комплекса парагенетически связанных экзогенных геологических процессов в долинах рек и озерных котловинах. При этом ландшафт здесь не обязательно сильно преобразован. Он даже может быть бли-

зок к естественному, но экзогеодинамика территории, подземные сферы претерпевают заметные и необратимые изменения.

Карта измененности геологической среды Московского региона ушла объективную инфраструктуру столичной агломерации с ее городами-спутниками, транспортными магистралями и промышленно-селитебной зоной вдоль них, каналами и водохранилищами, районами добычи полезных ископаемых. В ходе преобразования ландшафтов региона изменения геологической среды, ее экологические условия в целом стали более приспособленными для жизнедеятельности человека. Вместе с тем на каком-то этапе *интенсивность негативных изменений в среде приобрела опасный характер*. На карте красный цвет, которым отмечены участки сильных изменений, служит предупреждением, что здесь техногенные изменения необратимы, сильны, и ошибка в прогнозировании их спонтанного развития может дорого обойтись.

### **Региональный прогноз инженерно-геоэкологических изменений. Рекомендации**

Региональный прогноз изменений геологической среды Московского региона строится на основе изучения реакции геологической среды на техногенное воздействие. Этому помогает дешифрирование аэрофотоснимков прежних лет (с 1930—1940 гг.). Таким образом были получены многовариантные типовые сочетания (модули) «тип среды×вид воздействия=характер реакции».

На стадии создания картографической модели геологической среды Московского региона внимательно изучались запросы плановых и хозяйственных органов столицы и области, а также ряда проектных организаций. Все они по сути сводились к следующим: 1) где разместить объект с наименьшим ущербом для среды; 2) каковы характер реакции среды и вероятность ее загрязнения при размещении того или иного объекта в конкретной «точке» пространства.

Для Московского региона по принятой методике были составлены прогнозные матрицы, которые отражали многовариантную комбинаторику типов геологической среды региона и видов воздействия. Текстовый перечень геологических процессов реакции среды на техногенное воздействие был рассчитан на ввод в ЭВМ и демонстрацию с экрана дисплея или на машинное размножение в форме распечаток.

Анализ созданных карт изменения геологической среды на конкретный момент времени и специальное дешифрирование аэрофотоснимков разных лет позволили составить ряд процессов, представляющих собой некую обобщенную реакцию на инженерно-хозяйственное воздействие в пределах Московского региона (табл. 14).

Различные виды инженерного воздействия на среду по-разному влияют на природные экзогенные геологические процессы

## Реакция геологической среды на техногенное возмущение

Тип процесса	Индекс	Разновидности проявления	Индекс
<i>Экзогенные геологические процессы и явления</i>			
Заболачивание (болото)	ИБ	Площадное Бессистемно-очаговое Линейно-очаговое Линейное	п б о л
Овражная эрозия	ИОЭ	Бороздковая Доинная Смешанная	б д с
Плоскостная эрозия	ИПЭ	Струйчатая Бессистемная Гребенчатая (склоновая)	с б г
Карст	ИК	Площадной (бессистемный) Очаговый, локальный Линейно ориентированный	п о л
Оползни	ИО	Крупные (в коренных породах) Средние (в коренных и четвертичных отложениях) Мелкие (в торфе, четвертичных отложениях и коре выветривания коренных пород) Сложные, комбинированные, переходные	к с м п
Речная (боковая) эрозия	ИРЭ	Равномерный размыв Очаговое разрушение (ниши и т. д.)	р о
Аккумуляция речная, озерная, водохранилищ	ИА	Минеральная Биогенная (евтрофикация) Смешанная Техногенная	м б с т
Суффозия	ИС	Присклоновая (подкорневая) Водораздельная (в карстовые пустоты) Линейная, очаговая	п в л
Развевание	ИР	Песков Торфа, почв	п т
Абразия	ИАБ	Избирательная Равномерная	и р
Гравитационные процессы	ИГР	Осыпи Обвалы, вывалы Обвалы, осыпи, шелушение	о в ш
Морозное пучение	ИМ	Одиночное Групповое	о г



Тип процесса	Индекс	Разновидности проявления	Индекс
Обводнение, заозеривание (выемок, котлованов)	ИЗ	Застойное Застойно-проточное, смешанное Проточное	з с п
Гравитационный выпор	ИГ	Единичные проявления Площадные проявления	е п
Оседание, проседание поверхности	ИОП	Линейное Сетевое, очаговое (пригрузочное)	л с
Болотная солнфлюкция	ИБС	—	—
Техногенная денудация	ИТД	—	—

*Гидрогеологические процессы (изменение гидрогеологических условий)*

Подтопление	ИПТ	Площадное, очаговое Линейное Сложноконтурное	п л с
Боковая фильтрация из водохранилища	ИФ	Глубокая, устойчивая Послойная, локализованная	г п
Обводнение, разжижение торфа	ИО	—	—
Засоление	ИС	—	—
Изменение уровня грунтовых вод	ИГВ	Повышение Снижение	п с

*Геофизические изменения (наведение геофизических полей)*

Электромагнитное загрязнение	ИИЭ	Линейное Площадное, бессистемное	л п
Шумовое загрязнение	ИИШ	Линейное Площадное, бессистемное	л п
Вибрации	ИИВ	—	—

*Химическое, биохимическое загрязнение среды*

Поверхностное	ИВП	—	—
Неглубокое	ИВН	—	—
Глубокое	ИВГ	—	—

территории, что отразил индекс, указывающий на характер техногенного влияния: активизацию или подавление процессов.

При нормативном прогнозировании неизбежно приходится сталкиваться с ситуациями, когда один и тот же фактор может расцениваться по-разному. Иными словами, на каком-то отрезке времени его роль положительна, а затем становится отрицательной. Примером может служить прогнозная оценка влияния древесных насаждений вдоль абрадируемых или эродируемых берегов рек, озер или водохранилищ на процессы разрушения берегов.

На водохранилищах канала им. Москвы, на Истринском, Озернинском и Можайском водоемах можно встретить мысы-волноломы, которые удерживаются от разрушения группой деревьев или куртинами кустов. Но наблюдаются и иные картины, когда подмытое и обрушившееся дерево способствует образованию глубокой выемки, волнобойной ниши, и дальнейшему разрушению берега. Двойственность роли древесной растительности ярко проявилась, в частности, на островах дельты Северной Двины, где поток отсекал покрытый кустарником участок суши, и тот становился «ядром» нового растущего острова, способствуя резкому увеличению эрозионной силы потока, разрушающего сушу.

На крутых склонах посадка деревьев в целом дает положительный результат, но при подмыве корневой системы и падении дерева эрозия в месте свала нередко в течение кратчайшего времени буквально разрезала склон свежим крупным оврагом. Наблюдения показали, что посадка деревьев на песчаных склонах крутизной более  $25^\circ$  и суглинистых крутизной  $30^\circ$  и более нередко приводит к активизации эрозии и оползней в местах смещения и падения крупных стволов, корневых вывалов и нарушений почвенного покрова развивающимися корнями. Это явление также было учтено в прогнозных модулях.

При прогнозе лесохозяйственного освоения неудобий и других земель необходимо учитывать способность лесов задерживать талые воды, что на ровных выположенных участках нередко приводит к заболачиванию. На покрытых лесом пологих склонах объемы жидкого стока примерно в 3—4 раза, а объемы твердого стока в 6—7 раз меньше, чем на соседних пашнях и лугах, что хорошо заметно по процессам плоскостной и линейной эрозии, преобладающим на открытых склонах и слабо проявляющихся в условиях лесов.

Сельскохозяйственная деятельность человека лишь немногим уступает по глубине и интенсивности преобразования геологической среды таким мощным фактором техногенеза, как промышленное или городское строительство. Пахотное земледелие почти полностью меняет всю экзодинамическую ситуацию, неоднозначно влияя на такие процессы, как эрозия и подтопление.

Сведение леса увеличивает объемы твердого стока (смыва) с единицы площади. Последующая распашка снижает поверхностный жидкий сток за счет того, что часть вод затрачивается на формирование внутрипочвенного или подпочвенного стока. Внесение химических удобрений и связанная с ним коагуляция коллоидных частиц в верхнем почвенном горизонте еще более увеличивают и без того высокую водопроницаемость пахотных земель.

Вместе с тем пахотное земледелие является действенным фактором осушения переувлажненных земель и неглубоких верховых болот. Здесь на первое место выступает испарение с по-

верхности, чему во многом способствуют ветры, особенно сильные на открытых пространствах.

При прогнозе учитывается и направление вспашки. Ориентированная в сторону уклона пахота вызывает активизацию всего комплекса денудационных процессов. Пахота с бороздкованием параллельно бровке склона, рассеивающая поверхностные воды, тормозит развитие склоновых процессов. Но оценивая ситуацию в целом, необходимо отметить общее увеличение объемов внутрипочвенного и подпочвенного стока и общую активизацию склоновой эрозии.

С распашкой тесно связана бороздковая, или прыгающая, эрозия, часто поражающая склоны при уклонах поверхности в 2—6°. Появляется она и на крутых (45° и более) склонах и особенно на искусственных слабозадренованных или с поврежденным почвенным покровом. Здесь следует ожидать быстрого перехода от бороздковой эрозии к формированию оврагов.

Использование химических и органических удобрений в сельскохозяйственном производстве сопровождается загрязнением как поверхностных, так и подземных вод. Евтрофикация водоемов, связанная с поступлением в них азота и фосфора, — процесс типичный для сельскохозяйственных территорий. Поступление этих элементов с пахотных полей в 1,5—3 раза больше, чем с залесенных территорий. При первых признаках зарастания водоемов необходимо принимать меры по предотвращению процесса вытеснения диатомовых водорослей синезелеными, которые, используя свою способность поглощать атмосферный азот, беспрепятственно размножаются и достигают 80—90 %-ного превосходства над другими биологическими сообществами водоема. Известны случаи, когда водоемы средней полосы за 40—50 лет приходили в гипертрофное состояние, пройдя все стадии эволюции от олиготрофной до типичного болота. Такая «экспресс-эволюция» наиболее характерна для участков загрязнения вблизи крупных ферм, где фильтрация сточных вод в грунты затруднена. Выявить ее помогает инженерно-геологическая карта зоны аэрации. На аэрофотоснимках таких участков можно проследить признаки угнетения растительности, застойные воды и очаги заболачивания. При прогнозировании берутся на учет валы и насыпи, защищающие русла рек от попадания в них поливных вод с сельскохозяйственных угодий. Здесь могут формироваться очаги застойных вод, индицируемые по пятнам болотной растительности.

На пахотных землях учитываются проявления таких процессов, как эрозия, карст, суффозия и пучение. Там, где эти процессы малоактивны, следы их проявления довольно быстро исчезают в результате так называемой пахотной нивелировки микрорельефа. При прогнозе необходимо учитывать такую нивелировку рельефа, постепенное уничтожение на пахотных землях как отрицательных, так и положительных микроформ, с чем связаны угасание эрозии и подавление очагов заболачивания.

Заполнение водохранилищ вызывает серьезную перестройку всего берегового ландшафта. Расчетные прогнозы переработки берегов водохранилищ (на базе стохастических моделей или методами Золотарева и Качугина) требуют учета довольно большого числа факторов и параметров. Типы берегоформирующих процессов определяются литологическим составом пород, слагающих береговые уступы. Последнее и было учтено при построении прогнозных матриц. При прочих равных условиях берега, сложенные глинами и суглинками, более устойчивы к воздействию волн, и скорость их отступления меньше, чем берегов, образованных песками или супесями. Уступ в суглинках довольно долго сохраняет свежий облик, что связано с худшими по сравнению с песчаными берегами условиями почвообразования. В то же время песчаные берега отступают под действием волн заметно быстрее. Но зато здесь быстрее формируется береговая отмель, а следовательно, и профиль равновесия. Новообразованная песчаная отмель довольно подвижна, что мешает закреплению на ней корневой растительности. Надводная часть песчаного склона лучше схватывается растительностью, и тогда устойчивость его к абразионному воздействию резко возрастает. На этих довольно простых закономерностях берегоформирования и строится концептуальный прогноз процесса.

Зона подтопления для каждого водохранилища рассчитывается в зависимости от высоты и литологического строения берегов, глубины залегания грунтовых вод и уровней подпора их. Если имеются примеры создания и эксплуатации водохранилищ в сходных условиях, то можно применить метод аналогий.

В ходе работ отмечалась более активная евтрофикация в заливах, дно которых сложено слабопроницаемыми суглинистыми породами. Но и пески, выстилающие дно таких заливов, в условиях слабого водообмена, образования коллоидных частиц, коагуляции и кольматации быстро становятся слабопроницаемыми, сходными по своим фильтрационным свойствам с теми же суглинками.

При заполнении водохранилищ следует ожидать некоторого снижения активности овражной эрозии из-за подъема ее базиса. В то же время подпор грунтовых вод нередко способствует оживлению бороздковой эрозии, которое сопровождается обновлением верховий и активизацией денудации по склонам оврагов и балок.

Региональный прогноз изменений геологической среды под влиянием городского строительства или сооружения крупного индустриального комплекса опирается на сходную группу факторов. Город включает объекты промышленности так же, как промышленный комплекс — участки жилых массивов и управленческо-конторской службы; они различаются структурой, но не составом техносферы.

При городском строительстве необходима оценка устойчивости грунтов к статическим нагрузкам, которая зависит от лито-

логии пород. Следует тщательно изучить все участки, занятые антропогенными отложениями, а их состав требует особого анализа. Учитывается риск проявления оползней, карста, эрозии, подтопления и других процессов, представляющих опасность для инженерно-строительных объектов города.

Разработанная картографическая модель располагает всем набором факторов, которые необходимы для первой оценки условий городского строительства. На этом и основан прогноз вероятности активизации тех или иных геологических процессов, для защиты от которых необходимо использовать инженерные средства.

Процессы подтопления нередко сопровождаются повышением агрессивности грунтовых вод по отношению к бетону и металлу и всплесками бактериального загрязнения, которое с особой силой проявляется при нарушении температурного режима массива. Это следует учитывать при планировании специального контроля за составом и свойствами подземных вод. На контактах пород различного литологического состава или искусственной и естественной (геологической) сред можно ожидать развития суффозии или пучения, просадок и нарушений несущих свойств грунтов основания. На таких участках в случае подтопления или его возможности следует прибегнуть к профилактическим мерам против названных процессов.

Анализ выделенных типов геологической среды и типов строения зоны аэрации позволяет с высокой точностью выделять участки, подверженные процессам подтопления из-за близкого к поверхности залегания грунтовых вод и (или) присутствия в разрезе вблизи дневной поверхности слабопроницаемых слоев пород и при других условиях, перечисленных выше.

Анализ данных о защищенности подземных вод глубоких горизонтов, сработке пьезометрических уровней, отрыве их от кровли водоупора и перетекании поверхностных и приповерхностных вод в нижележащие водоносные слои дает возможность выделить на прогнозных картах участки вероятного переосушения и вторичной консолидации пород поверхности, вызванных этим процессов просадки, проседания, усыхания болот и снижения водности рек и озер.

Уплотнение грунтов, асфальтирование территории, спрямление и облицовка берегов рек, осушение болот грозят ростом паводковых пиков речного стока. При этом поверхностный сток (в городах) увеличивается в 1,2—1,5 раза на песках и в 1,5—1,7 раза на суглинках. В этих случаях необходимо проводить опережающую защиту территории застройки от непериодических паводков, вероятность которых повышается и при засыпке оврагов.

Особую роль при оценке вероятных процессов изменения геологической среды играет анализ защищенности как грунтовых, так и подземных вод глубоких горизонтов. Разрывы, окна

и эрозионные «пропилы» в водоупорах не только создают условия для вертикального загрязнения. Здесь наблюдаются наиболее существенные экологические изменения в ландшафте при активном водопотреблении, снижении пьезометрических уровней, а тем более при отрыве уровней вод глубоких горизонтов от кровли (водоупора) и инверсии перетекания подземных вод.

Прогнозировать загрязнения по составу загрязнителей можно лишь с учетом специализации городской промышленности. Для Московского региона выделено 10 типов ПТС, имеющих различия в технологии освоения земель, энергоактивности технологического ядра и составе элементов-загрязнителей среды.

Все еще наблюдается закономерное возрастание загрязнения поверхностных водотоков по мере прохождения вод через город. Это явление отмечается и в Москве, где загрязнение, например, р. Москвы заметно растет вниз по течению, особенно резко увеличиваясь вблизи Курьяновской станции аэрации.

При карьерном и вскрышном способах добычи полезных ископаемых прогнозируются возникающие инженерно-геологические процессы, а также изменения гидрогеологических условий, которые влекут за собой ряд других геоэкологических процессов.

Карьеры, в которых ведется добыча с искусственным осушением, могут влиять на обводненность пород в обширной зоне вокруг них. С этим процессом могут быть связаны обсыхание неглубоких низинных болот и затухание бороздковой эрозии. Границы депрессионной воронки в песчаной среде можно определить расчетным путем.

При вскрышных работах в условиях ледниковых и реже флювиогляциальных равнин Подмоскovie можно встретить линзы и прослои напорных вод, как это происходило при прокладке канала им. Москвы.

Показанные на специальных картах разрывы в юрском водоупоре и пьезометрические уровни артезианских вод позволяют выявлять места, где при вскрышных работах требуются особые меры по ликвидации возможности затопления карьеров.

При добыче торфа возникает проблема осушения крупных массивов и сброса вод в условиях небольших перепадов высот. Правильно отраженная на картах картина питания торфяных болот позволяет устранить возможность повторного заболачивания и заозеривания земель после завершения работ по добыче торфа, если только обводнение не входило в планы рекультивации. Фиксируются также участки переосушения, представляющие опасность как очаги самовозгорания или возникновения пыльных бурь.

Ликвидация торфяных болот отразится на всем окружающем ландшафте и прежде всего на водности и режиме связанных с ними малых рек. Болото как бы амортизирует паводковые сто-

ки, отбирая и испаряя часть вод. Без них сток приобретает скачкообразный характер с резкими и кратковременными подъемами и неустойчивым режимом в межень. Это влечет за собой усиление донной эрозии.

Нарушенные вскрышными работами земли могут дальше самовосстанавливаться как суходолы, болотно-озерные и озерные системы. Эти пути легко прогнозируются с помощью картографической модели среды. Картографическая модель геологической среды в сочетании с математической моделью позволяет прогнозировать риск проявления карстово-суффозионных или оползневых процессов.

М. Э. Аронзон построила карту районирования Московской области по вероятности проявления карста на поверхности по набору из 46 факторов зарождения этого процесса. Более удачен, на наш взгляд, принцип прогнозного картографирования любого вида экзогенных геологических процессов путем подборки эталонных типов геологической среды с фиксируемыми проявлениями изучаемых процессов. Для этого составляется детальная карта на всю территорию или на выбранные эталонные участки. На основе анализа типов строения геологической среды и их связей с конкретными парагенетическими генерациями геологических процессов подбираются эталонные ряды, которые затем используются в качестве критериев прогнозного районирования территории. Например, районирование территории по степени карстоопасности учитывает в качестве карстоопасного тот тип геологической среды, в котором зафиксирован факт карстопроявления. При обнаружении новых проявлений карста присущий ему тип строения среды (учитывающий и гидрогеологические условия) сравнивается с рядом эталонных карстовых типов. Если выделенный новый тип действительно оригинален, то ряд эталонов пополняется и ЭВМ уточняет прогнозную карту с учетом нововведения.

Достоинство таких прогнозных карт также в том, что их прогноз риска встречи того или иного процесса основан на принципе «да — нет». Существующие прогнозные построения с дополнительными градациями «вероятен», «возможен» и т. д. при планировании освоения территории весьма неудобны, так как заложенная в них неопределенность влечет ответную неопределенность проектирования или, борясь с неопределенностью, проектировщики трактуют эту градацию как «опасность» проявления процесса совершенно однозначно.

Региональный прогноз основан на принципах аналогии и теории экзогенной геодинамики. Он может пополняться расчетными построениями с последующей экстраполяцией результатов на основе карты типологического районирования геологической среды.

Прогноз является основой для управления процессами геологической среды, которые могут снижать ее жизненный (с соци-

альных позиций) потенциал<sup>1</sup> или увеличивать его. Главное в управлении геологическими процессами — не само инженерное вмешательство в их ход и формы проявления (учение на ошибках этого пути управления и так слишком затянулось), а регуляция той части энергии жизнедеятельности общества, технологии его производства, которая идет на возбуждение тех или иных процессов среды, ее реконструкцию и загрязнение. Загрязнение геологической среды — это также элемент энергговоздействия техносферы (социосферы) на литосферу. Например, города Бронницы и Воскресенск находятся в сходных ландшафтных зонах, но если в первом уровень загрязнения почв (а с ними и грунтов) довольно низкий и не вызывает особой тревоги, то в Воскресенске то же загрязнение значительно сильнее и прослеживается на более обширной территории. Управлять процессами самоочищения почв, зоны аэрации и грунтовых вод здесь можно через снижение выбросов производства.

Вопрос о рекомендациях по управлению процессами эволюции и изменения геологической среды, о целесообразности их как результирующей части гео(лито)мониторинга до сих пор дискуссионен. Многие исследователи придерживаются мнения, что геомониторинг должен завершаться прогнозом, а задачи управления средой относятся к самостоятельной и сложной проблеме на стыках геологии, политики, социологии, технологии производств и философии.

Тем не менее ситуационный прогноз состояния геологической среды для конкретных планов развития народного хозяйства региона не может быть беспристрастным. Сама цель прогнозирования заключается в оценке новой ситуации, выявлении ее положительных и отрицательных качеств. Эта оценка — первый шаг к управлению средой, пока еще на уровне идей, предложений и концепций, возможно без конкретных технических решений, но тем не менее он направлен на поддержание позитивных и подавление негативных процессов и явлений.

Управление развитием геологической среды неразрывно связано с ее освоением. Следуя учению В. И. Вернадского о формировании ноосферы, осознавая геологическую мощь техногенного влияния на среду, мы воспринимаем это влияние и как средство управления ее развитием. Масштабы преобразования среды растут, но они не беспредельны, так как ноосфера, и в этом мы согласны с выводами В. Г. Горшкова, никогда не будет трансформирована в искусственную часть биосферы или в ее техногенное подобие. На поддержание биосферы в таком состоянии потребуется слишком много материальных затрат и энергетических ресурсов.

Когда речь идет об управлении геологическими процессами урбанизированных территорий с развитой промышленностью, то

<sup>1</sup> Специалистами ВСЕГИНГЕО используется термин «геопотенциал», под которым понимается свойство геологической среды обеспечивать развитие человеческого общества.



общественное производство ассоциируется, по меткому выражению К. Я. Кондратьева и Ю. А. Ростопшина, с механизмом, встроенным в природную среду, одной из функций которого является ее преобразование. В связи с этим управление инженерно-геологическими процессами может осуществляться как путем прямого целенаправленного воздействия на природные процессы и факторы, так и путем регуляции этого механизма. Намечая стратегию природопользования и управления состоянием среды, последнюю приходится рассматривать с позиций геосистемного подхода.

По определению А. Г. Исаченко, геосистема связывает в единое целое верхнюю часть земной коры с присущим ей рельефом, подземные и поверхностные воды, климат, почву и биоту. Но более удобно геосистему рассматривать в совокупности с элементами техносферы, т. е. как геотехническую систему, на тех же принципах единства связей.

Управление процессами геологической среды или геотехнических систем направлено на решение следующих задач: 1) обеспечение нормального функционирования искусственной части среды и жизнедеятельности общества, которые зависят от состояния и ресурсов природной среды; 2) профилактика и предотвращение кризисных ситуаций в системе «среда — общество»; 3) защита, восстановление и улучшение природной среды до эталонно-прогнозируемого уровня.

Задачи эти меняются вместе с развитием науки и техники, реальными изменениями природной среды и социальной политики. Кроме того, актуальность и приоритетность этих задач прямо связаны с сегодняшними кризисными экогеологическими ситуациями или с противоречиями землепользования, когда наши потребности (в воде, пище, территории и т. д.) вступают в противоречие с ресурсами окружающей среды. Многочисленные сигналы о подтоплении земель, вторичном заболачивании рекультивированных участков торфодобычи, провальных явлениях, оползнях на густо застроенных участках и загрязнении подземных вод свидетельствуют о том, что противоречия землепользования коснулись и Московского региона. Здесь управление нередко основано на прямом инженерном вмешательстве в развитие негативных процессов или ликвидации условий их зарождения. В качестве примеров можно привести цементирование карстовых полостей в районах г. Подольска и р. Пахры, закрепление оползневых масс в Москве и за ее пределами, ликвидацию эрозионных форм при архитектурной планировке территории (целевое управление) или в ходе распашки земель (побочное вмешательство), дренаж, орошение и т. д. На мелиорацию израсходовано в Подмосковье немало средств, в результате чего площадь улучшенных земель составила примерно 20 % общей площади сельскохозяйственных земель.

Управление состоянием природной среды через энергоотдачу техносферы, совершенствование технологии производства,

ввод сооружений по очистке сточных вод или замкнутого водооборота и другие мероприятия разрабатываются на основе планов рационального землепользования с учетом результатов геоэкологического контроля и прогнозирования процессов развития природной среды. В дальнейшем планируется увеличить площади очистных сооружений.

Картографическая модель геологической среды Московского региона отразила степень ее изменения и устойчивости к техногенному воздействию и позволила достаточно точно выявить участки повышенного риска геоэкологических кризисных ситуаций, которые связаны прежде всего со все увеличивающимся водоотбором из глубоких водоносных горизонтов, нередко сопровождающимся загрязнением подземных сфер. Проявление карста в густонаселенных районах, возможно, связано с повышением агрессивности подземных вод и снижением напоров. Непростая ситуация сложилась вокруг неудобий, нарушенных и брошенных земель, по которым, к тому же, нет точной информации об их площадях, ни о природных процессах их восстановления или выводе из хозяйственного оборота. В ходе картографирования региона нередко выявляется малая эффективность рекультивации земель, в частности после торфопеработок. В этой связи был предложен некий срок доверия, оцениваемый нами в два-три года, за который в пределах нарушенного ландшафта проявятся все процессы самовосстановления. И тогда можно составить более реальный план рекультивации земель, учитывающий возможную экзодинамику участка.

Обоснованную тревогу вызывают проекты увеличения водопотребления за счет интенсификации отбора подземных вод. Сейчас ведется прогнозирование возможного влияния планируемого водоотбора на севере и юге региона для дополнительного водоснабжения Москвы и ряда городов Московской области. Впервые намечено создать комплексный прогноз влияния водоотбора из глубоких горизонтов на грунтовые воды, питание поверхностных вод и в целом на весь почвенно-растительный мир в этой зоне. Методика подобного рода геоэкологического прогнозирования и первые его результаты широко обсуждаются специалистами и общественностью. Помимо прогноза, идет разработка надежной системы контроля за состоянием среды в экологически опасной зоне с привлечением средств аэрокосмического зондирования.

Особое внимание уделяется колодцам и скважинам, находящимся в зоне влияния современного и планируемого водоотбора, состоянию их застольной изоляции. В этом плане вызывают тревогу данные В. М. Дубровина, обследовавшего колодцы и скважины Подмоскovie и пришедшего к выводу, что каждая четвертая скважина имеет неудовлетворительную застольную изоляцию.

До сих пор в Подмоскovie не решена проблема складирования твердых бытовых отходов. Ввод в строй мусороперерабаты-

вающих заводов снизит остроту проблемы, но не ликвидирует ее полностью. А именно здесь требуются достаточно сложная инженерная защита подземных вод от загрязнения и меры по ускорению процессов уплотнения отходов на полигонах.

Анализ сведений о зоне аэрации показывает, что в ряде случаев наблюдается тенденция к подъему уровней грунтовых вод. Этим самым снижается сорбционная емкость зоны аэрации, чему способствуют также процессы химического взаимодействия между минералами и ингредиентами фильтрующихся с поверхности вод. Одновременно меняются и физико-механические свойства пород зоны аэрации.

Все эти разрозненные примеры свидетельствуют о том, что геоэкологическая обстановка региона все настоятельнее требует управления многими процессами изменения геологической среды с целью ее охраны и восстановления утраченных функций.

Современное землепользование должно включать меры по обеспечению надежного контроля за состоянием среды, в том числе ее искусственной составляющей. Прежде всего необходимо тщательно изучить систему «среда — человек — результаты взаимодействия» и построить модель дальнейшего развития этой системы и устранения кризисных экологических ситуаций (если таковые зафиксированы). На этой стадии работ прогноз и рекомендации по управлению процессами, протекающими в среде, неразрывно связаны.

Только после этого может быть создана универсальная информационная система геоэкологического мониторинга, контролирующего соответствие реальных изменений среды прогнозным построениям и обеспечивающего эффективность и экологическую безопасность всех инженерно-хозяйственных мероприятий, включая и природоохранные.

Региональная модель управления развитием среды должна быть обязательно увязана с общими национальной и глобальной системами охраны среды, планами ее восстановления или землепользования в целом. Впервые идея объединения усилий в деле глобального контроля за состоянием среды была высказана на Международной конференции по охране природы в Лейк-Саксесе (США), проведенной под эгидой ООН в 1949 г. В настоящее время она реализована во многих международных проектах, в создании которых принимали участие такие организации, как Госкомгидромет, Интеркосмос и др.

# ГЕОМОНИТОРИНГ И ДИСТАНЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

### 3.1. ЗАДАЧИ И СТРУКТУРА

Геологическая среда испытывает постоянное энергетическое воздействие техносферы и отвечает на него столь же постоянными процессами изменения своей структуры, состава и качества. Для выбора метода контроля за состоянием геологической среды принципиальное значение имеет тот факт, что время и циклы протекания большинства геологических процессов в хорошо освоенных областях соизмеримы не с геологической, а с исторической шкалой времени. Цикличность таких процессов нередко находится в сложной связи с природными и технологическими, внешними по отношению к изучаемым процессам, циклами при доминировании (в большинстве случаев) последних. С этим связаны такие свойства рассматриваемых процессов как быстротечность и импульсивность.

Картографическая модель геологической среды в той ее части, которая освещает состояние лабильных элементов гео(био)-сферы, в качестве информационного средства подвержена быстрому старению. Для поддержания картографической модели в рабочем состоянии, когда она отвечает реальной ситуации на текущий момент времени, необходим такой канал информационного обеспечения, который позволил бы непрерывно пополнять ее нужной информацией. Информация сегодняшнего дня должна сочетаться с ретроспективной информацией о длительных природных (прежде всего геологических) процессах. Это необходимо для изучения общих закономерностей эволюции среды, как в ее естественном развитии, так и в новых, антропогенных, условиях. На этих закономерностях будет строиться обоснование стратегии хозяйствования и развития техносферы региона<sup>1</sup>.

Непрерывность наблюдений обеспечивает мониторинг, под которым, по определению Р. Е. Манна (1973 г.), понимается система повторных наблюдений одного или более элементов окружающей природной среды в пространстве и времени с определенными целями в соответствии с заранее подготовленной программой [37]. Мы бы добавили: с широким использованием дистанционных экспресс-методов. Позднее, Ю. А. Израэль предложил сузить рамки мониторинга контролированием лишь антропогенных изменений [15]. Принимая во внимание наличие многочисленных модификаций этого термина (понятия), учитывающих объект изучения (литомониторинг и др.), основной метод (дистанционный мониторинг и др.) и масштабы контроля (гло-

---

<sup>1</sup> По выражению Ф. Бэкона, человек повелевает природой, подчиняясь ей.

бальный или региональный мониторинг), само понятие «мониторинг» можно отнести лишь к принципу непрерывности наблюдений.

Учитывая, что объектом наблюдения и моделирования в нашем случае является геологическая среда, систему предлагаемых наблюдений целесообразно назвать геомониторингом.

В геологической литературе можно встретить термин «литомониторинг», который был предложен нами в середине 1970-х гг., однако он не совсем удачен, так как еще раньше употреблялся для обозначения мониторинга почв и твердой составляющей геосреды [15].

В настоящее время начинается осуществляться обширнейшая программа «Литомониторинг СССР», который рассматривается Г. С. Вартаняном, А. А. Шпаком, Т. А. Грязновым и К. И. Сычевым как система изучения, прогноза и контроля за состоянием геологической среды, изменяющейся под влиянием инженерно-хозяйственной деятельности. Литомониторинг по замыслу его разработчиков является частью мониторинга окружающей среды в целом, а дистанционный мониторинг за средой включен в структуру литомониторинга как его часть.

Сейчас в стране функционирует Общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения внешней (природной) среды (ОГСНК), находящаяся под эгидой Госкомгидромета СССР. В структуре международных проектов контроля природных сред она больше известна как Мониторинг антропогенных изменений состояния природной среды. Дистанционный мониторинг и геомониторинг не могут не охватываться такой службой, но, как показывает реальное состояние дел, внимание этой службы сосредоточено пока на внешних сферах Земли и их компонентах — атмосфере, поверхностных водах, растительности и фауне. Геологическая среда осталась как бы вне зоны внимания природоохранительных служб. Хуже всего обстоит дело с региональным контролем геологической среды именно промышленно развитых регионов.

Кроме ОГСНК метеорологические, гидрологические, агрометеорологические, ионосферные и гидрогеологические наблюдения ведут различные государственные ведомства и службы. Все эти наблюдения требуют четкой взаимной увязки задач, целей и средств их достижения. Дорогостоящий дистанционный мониторинг призван учитывать нужды всех этих служб, так как нет смысла каждый раз создавать под частные задачи частный мониторинг.

В 1980-х гг. была начата активнейшая разработка теории мониторинга геологической среды и способов его реализации. Закономерно встал вопрос о необходимости осуществления коренной организационно-структурной перестройки службы контроля состояния подземных вод и экзогенных геологических процессов в системе Министерства геологии СССР. Сегодняшняя система картографического моделирования геологической сре-

ды не отвечает требованиям мониторинга. Геологический мониторинг, если следовать определению Г. К. Бондарика, — это система изучения, контроля и оценки состояния и качества геологической среды, прогноза ее функционирования с учетом взаимодействия с атмосферой, гидросферой и др., в том числе с искусственной средой и ее производными. Здесь, как видим, рамки предмета исследований значительно шире сферы традиционных интересов геологии как науки.

Цели и задачи геомониторинга отражены в самом его определении. Главная цель этой информационной системы заключается в оптимизации управления процессами геологической среды, которая обеспечит ее нормальное, с позиции общества, состояние и функционирование. Эта цель может быть достигнута только в том случае, если будут решены задачи изучения, оперативного контроля состояния геологической среды и факторов техногенного воздействия на нее, а также объективного прогноза ее развития в условиях массо- и энергообмена с внешними (по отношению к геологической среде) средами.

Геомониторинг рассчитан на полный комплекс средств и способов изучения геологической среды, включающий дистанционные и натурные наблюдения, а также весь арсенал средств по обобщению информации предыдущих и параллельно ведущихся исследований. Эта информационная система призвана поддерживать в рабочем состоянии модель геологической среды.

Для упорядочения состава и структуры системы информационного обеспечения модель геологической среды разбивается на квазиоднородные элементы (типы строения) с учетом таких характеристик этой среды как устойчивость к внешнему воздействию, степень техногенной измененности и, в конечном счете, степень экологической оптимальности. Последняя категория требует особых разработок. В итоге нам придется учитывать соответствие реального состояния геологической среды требованиям общества к ее продуктивности, рекреационному потенциалу, эстетическим качествам, комфортности жизнедеятельности человека и т. д.

Геомониторинг рассчитан на такую систему тесно взаимосвязанных приемов и методов исследования, которая до сих пор при геологическом тематическом картографировании не применялась. Непрерывность адекватности модели реальному состоянию изменяющегося сложнейшего объекта заставляет использовать наиболее эффективные способы зондирования природной среды и сложные модели ее, максимально приближенные к натуре.

На сегодня в том виде и качестве как он задуман геомониторинг не создан ни в одной стране. В СССР наиболее близко к его осуществлению подошли геологи Москвы и Ленинграда. На первых этапах работ по Московскому региону была создана наиболее совершенная из всех разрабатываемых и существующих картографическая модель геологической среды и техносферы. Однако слабая техническая и методическая база аэро-

космических работ затормозила дальнейшую реализацию идеи геомониторинга.

Иная ситуация сложилась в Ленинграде. Сильнейшая в стране, со сложившимися традициями школа ленинградских аэрогеологов легче преодолевает трудности, связанные с дистанционным контролем за состоянием среды. Но выбрав путь создания Территориальных комплексных схем охраны природы (ТерКСОПов), ленинградские исследователи не обеспечили, на наш взгляд, требуемый уровень модели.

Разрабатываемая межведомственная программа работ по аэрокосмическим полигонам страны объединяет усилия специалистов различных регионов, служб и ведомств, что создает лучшие условия в отладке геомониторинга прежде всего там, где для этого уже имеется база в виде действующих частных систем.

### **3.2. ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩАЯ МОДЕЛЬ КАК ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА**

Если рассматривать геоэкологический мониторинг как информационную систему, обеспечивающую контроль за состоянием геологической среды, результаты которого во многом определяют стратегию землепользования, то сама модель контролируемого пространства входит в геомониторинг как подсистема. Она выполняет функции прогнозного математического моделирования, а также служит «экраном» результирующей информации (фактической, прогнозной, расчетной, концептуальной) или формой продукции мониторинга в виде комплекса карт или графика. При этом «экран» — не только фигуральное выражение. Мы все больше склоняемся к переводу карт на машинные носители, так как в этом случае устраняется один из основных недостатков традиционных карт на бумажной (матерчатой, пленочной) основе — консерватизм моделируемой картины.

Использование таких карт для отражения динамичной ситуации всегда связано с целым рядом условий. Применяя такие категории как «устойчивость» и «степень изменения», мы преодолеваем статичность модели, но вынуждены при этом оперировать динамическими стереотипами реакции среды, характера ее изменений и условий загрязнения.

Вывод картографических моделей на экраны дисплеев открывает широкие возможности для постоянного совершенствования графического изображения в интерактивном или диалоговом режиме. Этот режим можно перевести в автоматический при наличии соответствующих программ и необходимости в этом. Здесь вполне применим принцип «монитора», когда переход от программы к программе осуществляется ЭВМ без участия человека.

В литературе термин «постоянно действующая модель» все чаще употребляется как синоним математической модели, реали-

зованной в программах непрерывного усовершенствования. Это упрощение нельзя признать удачным. По логике вещей к постоянно действующим относится целый класс самых разных моделей и реализованных в ЭВМ, и представленных в виде традиционных карт, которые адекватно отражают изменяющуюся обстановку.

Постоянно действующая модель геологической среды в системе геомониторинга Московского региона включает математическую прогнозную модель и картографический «экран». Последний служит связующим звеном между информационной системой и потребителем ее продукции

Состав картографической модели геологической среды подробно рассмотрен в разд. 1. 3. Ниже мы остановимся на математической имитационной модели, которая используется при контроле состояния среды и гидрогеологических процессов, протекающих в ней, в пределах Московского региона.

В Московской геолого-гидрогеологической экспедиции ПГО «Центргеология» в 1988 г. была введена в эксплуатацию автоматизированная информационная система постоянно действующих моделей геологической среды Московского градопромышленного комплекса; разработанная группой исследователей под руководством И. С. Пашковского. Эта система предназначалась для решения гидрогеологических и инженерно-геологических задач методами математического моделирования с использованием программно-технических средств АРМ-ГЕО. Система была создана на базе отечественной быстродействующей электронно-вычислительной техники (ПС-2000) с развитым периферийным оборудованием, позволяющим решать задачи в режиме диалога с выводом результатов на графические дисплеи. Предусматривались накопление информации в автоматизированном банке данных (подсистема «Геобанк») и ее обработка в виде автоматизированного моделирования геологических процессов (подсистема «Процесс»). Последняя представляет собой программно-технический комплекс, обеспечивающий решение широкого класса геологических задач, и в первую очередь задач геофильтрации, миграции подземных вод и развития связанных с ними экзогенных геологических процессов.

Система позволяет корректировать исходные данные на экране алфавитно-цифрового дисплея, просматривать результаты моделирования, которые транслируются на экран в виде карт, таблиц, графиков или словесных формулировок, а также при необходимости получать их бумажные копии.

При подготовке системы разрабатывался комплекс алгоритмов и программ моделирования миграции подземных вод на разных уровнях детальности модели (1:200 000, 1:50 000 и 1:10 000). Рассматривалось перемещение частиц воды в пористой среде с учетом физико-химических изменений воды при фильтрации и активных контактах с породами. Этот комплекс программ используется для прогноза качества подземных вод



на водозаборах и объектах с локальным загрязнением подземных вод.

Практический интерес в деле прогнозирования геологических процессов представляет комплекс программ моделирования пространственного распределения каких-либо геологических параметров, названного разработчиками геологическим полем. Эти поля имеют вид аналитических выражений, описывающих зависимость геологического параметра (как мер его рассеяния при использовании стохастического аппарата) в координатах и в виде тренд-поверхностей, представляющих графическое отображение пространственного распределения выбранного параметра или мер его рассеяния.

Комплекс разработанных программ обеспечивает математическую обработку и анализ пространственно-временной изменчивости параметров (характеристик). Таким способом может быть выделено геологическое пространство с заданными свойствами, удовлетворяющими, например, условиям возбуждения конкретного геологического процесса. Пространственно-временной прогноз показателей выбранных свойств (оценка средних значений и мер их рассеяния) в любой точке моделируемого поля, предусмотренный комплексом программ, может служить также прогнозом вероятности проявления здесь того или иного геологического процесса.

В разработках были использованы алгоритмы моделирования сложных систем, а для программирования задач использовались языки высокоточного уровня и ассемблеры ЭГВК ПС-2000.

Математическое моделирование позволяет обработать огромный фактический материал, который поступает в геобанк или вовлекается непосредственно в процесс моделирования. Об объемах информации, которую дают только наземные работы, в частности бурение скважин, наблюдения за экзогенными геологическими процессами, режимом подземных вод и гидро(гео)-химическое опробование, можно судить хотя бы по тому факту, что информационный банк постоянно действующей модели геологической среды Москвы и ее лесопаркового пояса за несколько лет формирования вместил сведения более чем по 35 тыс. скважин, а по Подмосковью только за год в тот же банк были введены сведения о положении 4,5 тыс. эксплуатационных скважин на подземные воды глубоких горизонтов.

Поток информации по интерпретации космических снимков вообще может быть (дискретно) непрерывен, и даже для простейшей ее обработки требуется привлечение средств автоматизации.

Сейчас появляется все больше публикаций, посвященных вопросам разработки и использования постоянно действующих моделей. В частности ставится проблема создания имитационных карт природной среды, предназначенных для непрерывного пополнения новой информацией о состоянии этой среды. Но при

этом в подавляющем большинстве случаев карты рассматриваются изолированно, сами по себе, без увязки со всей системой их информационного обеспечения. Более того, они нередко рассчитаны на старые методы картографирования при преобладании традиционного обследования территории.

Картографическая модель геологической среды суммирует, обобщает и переводит в простой для восприятия образ различную информацию, которая поступает по каналам прямого информационного обеспечения или в уже обработанном виде, в частности, пройдя через систему математического моделирования.

### **3.3. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

Дистанционные методы геологических исследований, основанные на приемах индикации скрытых от прямого наблюдения процессов и компонентов литосферы, приобретают универсальный, межотраслевой характер, и на сегодня по этим методам существует обширнейшая литература. Большой популярностью пользуются работы В. П. Мирошниченко, С. П. Альтера, Л. А. Богомолова, С. В. Викторова, Б. В. Виноградова, А. А. Григорьева, М. Н. Петрусевича, А. В. Садова, И. С. Гудилина, И. С. Комарова, Е. А. Востоковой и др., в которых дается оценка уникальных свойств дистанционных методов, позволяющих получить информацию об объекте практически на любой момент времени. Аэро- и космические фотоснимки со временем не теряют своего основного качества — объективности. Они предназначены для многократного использования. По мере углубления наших знаний о связи глубинных процессов с внешними компонентами ландшафта мы можем возвращаться к фотоизображениям ландшафта прошедших лет, извлекая все новую информацию о деципиентных процессах в глубинах литосферы.

Контроль за геологической средой промышленно развитых регионов требует решения широкого круга задач и вопросов, далеко выходящих за рамки традиционных для геологии. Кроме того, контроль должен быть оперативным и охватывать одновременно большие площади. Требуемым темпам дешифрирования уже не удовлетворяют хорошо разработанные приемы визуального (персонифицированного) распознавания объектов на изображении местности. Эти приемы отличаются высокой точностью и информативностью, но отнимают слишком много времени и высококвалифицированного труда.

Методика дешифрирования материалов дистанционных съемок разработана довольно хорошо. В 1988 г. съемка местности с воздушных носителей могла бы праздновать свой 130-летний юбилей, если вести отсчет с первой фотографии, сделанной Г. Надаром с воздушного шара в 1858 г. На этой фотографии запечатлен уголок Парижского предместья. За это время тех-

ника дистанционных съемок шагнула далеко вперед. И тем не менее, наиболее достоверные и полные сведения мы получаем с аэро- и космических фотоснимков, как и 100 с лишним лет назад, непосредственно работая с изображениями и узнавая по мельчайшим деталям, нередко интуитивно, скрытые элементы ландшафта. В настоящее время оперативное владение ассоциациями — одно из лучших качеств оператора-дешифровщика.

На материалах дистанционных съемок хорошо выделяются многие формы антропогенного влияния на рельеф, растительность, гидрографическая сеть, различного рода строительные объекты и другие искусственные составляющие современных ландшафтов. Например, на аэрофотоснимках 1973—1974 гг. мы прослеживали остатки мелиоративных систем, заброшенных 50—70 лет назад. В работе В. Е. Соколова и Б. В. Виноградова [32] приведены два снимка одного и того же участка с разницей в 26 лет. Несмотря на довольно слабую проработку печати старая вырубка проявилась и на позднем фотоизображении, хотя, вроде бы, возобновление леса было полным. Известен факт проявления на современных аэрофотоснимках следов танковых колонн Роммеля в песках североафриканских пустынь. Даже активнейшие эоловые процессы за 40 лет не смогли стереть их с, казалось бы, безжизненных ландшафтов.

Много написано об археологических находках с помощью аэрофотосъемки. На Украине в районе Умани на аэрофотоизображении заметны огромные, диаметром до 2 км, эллипсоидные фигуры, как бы вложенные друг в друга. Так проявила себя планировка поселений трипольской культуры (3 тыс. лет до н. э.). Это были протогорода неолита. Известны факты открытия погребенных под песками каменных колец Приди в Великобритании (3,4 тыс. лет. до н. э.) и древних римских дорог, идущих из Лондона на запад. На аэрофотоснимках плато Устюрт можно увидеть караванные дороги и места старых кочевий, а на снимках степной Украины — следы повозок кочевников вблизи курганов, возраст которых насчитывает не одно тысячелетие. Английский археолог Р. Миур на аэрофотоснимках обнаружил контуры полей, возделанных предками англичан, кельтами, населявшими территорию Северного Йоркшира, где были открыты и дороги, относящиеся к железному веку. Поля вполне четко дешифрировались на аэроснимках тех районов Украины, где жили колонисты из древнего Рима.

Работая на территории Гоби в Котловине Больших озер, мы обнаружили по космическим фотоснимкам древнейшие, ныне погребенные под песками каналы, уходящие от пресных озер к югу, в глубь пустыни.

Мы столь подробно остановились на этих примерах уникальной возможности аэро- и космических фотоснимков раскрывать скрытое от непосредственного наблюдения лишь потому, что и в наше время приходится довольно часто сталкиваться с неверием в информационный потенциал дистанционных съемок.

Дистанционный мониторинг геологической среды приобрел широкую популярность лишь в середине 1980-х гг., когда начались планомерные разработки системы национального аэрокосмического мониторинга и были сделаны первые шаги по его реализации. Саму идею непрерывного наблюдения за геологическими процессами нельзя признать новой. Первые работы по обоснованию повторных съемок изменяющейся ситуации относятся к 1930-м гг. Позднее, в 1960—1970 гг. приемы систематического дистанционного контроля за переформированием берегов водохранилищ были разработаны в Лаборатории аэрометодов АН СССР и в Гидрорежимной экспедиции Министерства геологии РСФСР, но к плановым работам по обоснованию дистанционного мониторинга приступили лишь в 1980-х гг.

За рубежом аэрокосмический мониторинг применяют довольно широко. В таких странах как США, Канада и Франция основной упор сделан на автоматическую регистрацию объектов. Результаты функционирования таких региональных экоиформационных систем как Национальная природная система США или Канадская географическая информационная система представляются в виде специальных карт масштаба от 1:500 000 до 1:10 000 или 1:12 000. Техасская информационная система природных ресурсов (TNRIS) рассчитана на картографические модели масштаба 1:24 000. В подобного рода информационных системах широко используется сопоставительное дешифрирование снимков разных лет. Например, для изучения эрозии при распашке земель в долине р. Сент-Джон канадские исследователи подобрали материалы съемок 1944, 1945, 1968, 1975 и 1980 г. Отметим, что для нашей территории можно подобрать и более длинные ряды разновременных снимков.

В США на космическом корабле многоцветного использования «Спейс Шаттл Колумбия» в 1983 г. впервые был использован новый фотографический сенсор «Метрическая камера», разработанный в ФРГ. Он совместил фотокамеру и фотограмметрическое оборудование. Снимки предназначались для составления топографических и тематических карт масштаба 1:50 000. Средствами навигации положение точки надира могло определяться с точностью 5—10 м [22]. По снимкам при помощи имеющейся аппаратуры непосредственно на борту космического корабля составлялись штриховые карты и ортопланы.

Приступая к дистанционному мониторингу любой территории, необходимо прежде всего обосновать объекты дешифрирования и моделирования, определить технические условия дистанционной съемки и обосновать масштабы используемых материалов и время повторных съемок.

Территория съемки, «регион», в данном случае задается в административных границах Московской области или в границах крупных региональных урбанизационных, промышленных, гидротехнических систем и зон их влияния.

Как уже отмечалось, региональная модель геологической среды рассчитана на три уровня детализации, соответствующие масштабам 1:200 000, 1:50 000 и 1:10 000. Первый масштаб охватывает весь регион. На территорию Москвы карты составлялись в более крупном масштабе в связи с поставленными задачами обоснования нового Генерального плана развития столицы. На том же уровне детальности картировались другие города области, канал им. Москвы и берега некоторых водохранилищ. Картографическая модель лесопаркового пояса Москвы была сделана в масштабе 1:50 000.

И все же вопрос выбора участков локального (1:50 000) и детального (1:10 000) уровней исследования довольно сложен. В большинстве случаев ключевые участки выбираются на долгий срок, и чем больше срок наблюдений по ним, тем лучше. При развертывании дистанционного мониторинга в ходе работ над ТерКСОПаи Ленинградской и сопредельной областей в качестве критериев выбора ключевых участков использовались такие показатели как острота экологической ситуации, степень устойчивости геологической среды, концентрация источников воздействия на среду и ее загрязнение, эффективность использования материалов дистанционных съемок.

Примерно тех же принципов придерживались специалисты при выборе ключевых участков в пределах Московского региона, рассматриваемого как полигон для национального аэрокосмического мониторинга.

Перечисленные критерии безусловно важны, но не могут считаться абсолютными при выборе подобного рода участков. Опыт работ свидетельствует, что любой проект, связанный с серьезным вмешательством в природную среду, должен быть подвергнут тщательной экологической экспертизе, геологическая часть которой требует использования методов дистанционного контроля. Малейшее сомнение в достоверности прогноза функционирования новых ПТС должно быть учтено как самый важный аргумент в пользу организации ключевого участка аэрокосмического наблюдения за развивающимися событиями на детальном или локальном уровне в зависимости от интенсивности и пространственных параметров проявления ожидаемых процессов изменения.

Детальный контроль ведется также на участках, которые выделяются при региональном мониторинге по наличию или возможности проявления геоэкологических аномалий, непредвиденных и опасных геологических процессов, ситуаций, резко отличающихся от прогнозной картины, и т. д.

Ключевые участки дистанционного мониторинга, на наш взгляд, не должны быть постоянны. Исключение, возможно, составляют участки, на которых проводятся наблюдения за опасными, грозящими катастрофическими последствиями оползневыми процессами, карстом или переработкой берегов водохранилищ вблизи строений. Вообще участок считается ключевым

лишь на то время, которое необходимо для решения поставленных народнохозяйственных задач: контроля за эффективностью инженерной защиты сооружений, выявления процессов самовосстановления нарушенных земель и влияния новостроек на окружающую среду и т. д. Оптимальный диаметр (поперечник) подобного рода участков с учетом полосы захвата детальной съемкой из космоса не превышает 80 км.

При дистанционном мониторинге геологической среды промышленно развитых регионов используется большинство современных технических видов съемок, включая и фототеодолитную. Преимущество имеют материалы съемок в видимой (0,40—0,75 мкм) или ближней инфракрасной (0,75—1,30 мкм) частях спектра. Видимо, в дальнейшем все шире будут использоваться и другие виды съемок, в частности инфракрасная (1,30—3,0 мкм — средняя; более 3 мкм — дальняя), радиолокационная (миллиметровый, сантиметровый, дециметровый и метровый диапазоны), а также аэрокосмическая гравиметрия и магнитометрия.

В настоящее время нередко приходится сталкиваться с мнением о слишком малой информативности космических снимков. Однако на мелкомасштабных космических снимках уже сейчас хорошо выделяются многие элементы региональных и глобальных геологических структур, которые не так-то просто выявить на более детальном изображении поверхности земли. В то же время камера МКФ-6 при использовании серийной пленки и съемке с высот 260—270 км позволяет получать изображение с реальным разрешением 8—10 м [25].

Обычно съемка из космоса ведется в нескольких спектральных интервалах. Первая из подобного рода съемок с космического корабля «Союз 12» была проведена отечественной камерой, оборудованной девятью объективами и заряженной двумя фотопленками с пределами чувствительности в видимой и инфракрасной зонах спектра. Позднее с космического корабля «Союз 22» съемка велась шестиобъективной камерой МКФ-6 (ГДР—СССР) в следующих спектральных диапазонах (в мкм): синем 0,46—0,50; зеленом 0,52—0,56; оранжевом 0,58—0,62; красном 0,64—0,68; ближнем инфракрасном 0,68—0,78 и 0,78—0,88. Камера МКФ-6 и ее аналог с меньшим числом каналов МСК-4 устанавливаются и на самолетах.

Американские технологические спутники и французский спутник «СПОТ» также ведут съемку в нескольких спектральных интервалах. Специфика их применения для определения конкретных природных компонентов описана во многих работах, содержащих рекомендации по использованию различных спектральных зон для изучения растительности, экзогенных геологических процессов, подводных отмелей и т. д.

В геологии все шире используются аэро- и космические фотоснимки территории в фиксированных, вполне конкретных диапазонах спектра, на что, собственно говоря, и рассчитаны мно-

гообъективные камеры с набором светофильтров. Таким образом достигается эффект усиления контрастности изображения объектов поиска и изучения за счет смягчения фототона других элементов фотоландшафта. Применение многоспектральной съемки открыло новые возможности для выявления на снимках контуров таких объектов как подводные образования или геологические структуры, еще недавно замаскированные растительностью. Это свойство многозональных снимков используется при контроле за загрязнением, в частности за применением химических удобрений или при выявлении участков сброса неочищенных стоков с ферм, которые вызывают интенсивное цветение водоемов. Светлые полосы и пятна на изображении водной поверхности в зелено-голубой зоне спектра отражают концентрацию микрофитов, а плавающая водорослевая растительность весьма контрастно выглядит на снимках, сделанных в ближайшей инфракрасной зоне спектра, в виде светло-белесоватых пятен на темном, почти черном, фоне открытой воды. Связь между цветопередачей воды и концентрацией в ней твердых частиц подчинена законам экспоненциальной зависимости, что иногда позволяет по плотности изображения судить о степени загрязненности водоемов.

При геоэкологическом контроле обширных территорий приходится дешифровать антропогенные ландшафты, которые обладают хорошей яркостью по всему спектру и особенно в длинноволновой зоне 0,60—0,80 мкм. Загрязнение вод — индикатор неочищенных стоков — минеральным веществом хорошо прослеживается в зоне 0,55—0,65 мкм, а органикой — в зоне 0,75—0,80 мкм. Это, конечно, далеко не все свойства и особенности спектро- и многозональных снимков.

Радиолокационная съемка пока используется довольно ограниченно: с ее помощью ведется изучение рельефа, рисунка гидрографической сети, растительности и почвенного покрова, мелководий и нефтяных пленок на воде. Радиолокационная система «Торос» была создана советскими специалистами в конце 1960-х гг. Лет через 10 ей на смену пришла система «Нить» с управляемой поляризацией и улучшенными геометрическими свойствами. Такая аппаратура широко используется и за рубежом. Геометрическое разрешение подобного рода систем колеблется в пределах 10—30 м.

Для космических кораблей системы «Спейс Шаттл» разработана радиолокационная аппаратура с многополяризационной антенной и электронным сканированием для измерения изображения в трех частотах с последующим синтезом его в цвете.

Инфракрасная съемка применяется пока несколько чаще. Она регистрирует собственное или отраженное излучение объекта в инфракрасном диапазоне. Атмосфера пропускает тепловое излучение только в двух диапазонах 1—5 и 7—14 мкм, иногда называемых окнами пропускания эмиттерного потока. Инфракрасная съемка хорошо выделяет тепловые поля городов и про-

мысленных комплексов, фиксируя также утечки тепла или тепловые аномалии, связанные с проявлением ряда экзогенных геологических процессов. Информация со спутников, полученная при съемках в диапазоне 8—14 мкм, подтвердила температурные аномалии воздушной среды городов, которые в среднем на 6—10 °С выше фоновых значений.

С 1982 г. проводится выборочная тепловая съемка Московского региона с использованием отечественного тепловизора «Вулкан» в двух спектральных каналах 3—5 и 8—14 мкм с чувствительностью 0,2 °С и разрешением 6—7'. Вообще тепловая съемка используется сравнительно широко. За рубежом, в таких странах как США и Япония аппаратура для инфракрасной съемки (ИК) выпускается серийно. Например, авиационная ИК-система TJMs (США) работает в шести каналах в диапазоне от 8,4 до 11,7 мкм при ширине каждого канала от 0,4 до 1 мкм с разрешением (по температурным градиентам) 0,1—0,3 К.

Несколько слов необходимо сказать о лазерных сканирующих многоспектральных системах, которые регистрируют спектры отражения и излучения природных объектов в сверхузких спектральных интервалах. В перспективе этот вид съемки может найти применение при индикации загрязнения почв, растительности и поверхностных вод, облучаемых лазером в ультрафиолетовой и видимой частях спектра. Регистрация возникающей люминесценции идет в красной области спектра, где проявляет себя концентрация ионов минералов и различных соединений, проникающих в растительность. Таким образом выявляются геохимические ореолы различных микроэлементов. Лазер позволяет вести локальный, «точечный» анализ воздуха и контролировать содержание в нем метана, тяжелых углеводородов, ртути, йода, соединений цинка, свинца и т. д.

Все возможности современной техники дистанционных съемок еще не раскрыты. При выборе того или иного вида съемки и приоритетного канала зондирования поверхности можно воспользоваться данными, приведенными в табл. 15.

Масштабы и время повторных съемок для каждого региона могут заметно различаться, но расчет их параметров может быть основан на универсальных критериях.

Существует немало рекомендаций, где указывается время повторения съемок и дается его обоснование. Так, Б. В. Виноградов [5], используя характеристики динамичности природных систем, в зависимости от того, какой процент территории подвергается изменениям за год, предлагает повторять съемки с интервалом в год, два, четыре, восемь и шестнадцать лет. Здесь притягательная точность цифр затеняет субъективность их получения. Дело в том, что изменения геологической среды или ландшафта — процесс трехмерный или многоуровневый. Выразить его только в единицах площади, т. е. на уровне двухмерного поля, без существенной потери объективности невозможно.



## Виды дистанционных съемок

Вид съемки (спектральный диапазон, мкм)	Технические особенности	Специфика использования
Фотографическая (0,4—1,1)	Регистрация отраженного электромагнитного излучения	Распознаются все объекты геологического картирования
Телевизионная (0,35—1,1)	То же Разрешение на местности от 600 до 10 м	Физические объекты соответствующих площадных параметров
Инфракрасная (2,6—5,5 и 8—14)	Фиксирует радиационные и температурные излучения Земли, атмосферы и сооружений	Распознаются тепловые аномалии
Многоспектральная (0,32—14)	Съемка в фиксированных спектральных интервалах с использованием светофильтров и сканирующих устройств	Многоцелевое и избирательное дешифрирование. В том числе тех объектов, которые слабо выделяются на обычных снимках
Микроволновая (0,3 см и более)	Регистрирует пассивное тепловое излучение Земли	Изображение коррелируется с влажностью и составом пород до глубины 15 см
Активная локализация	Радарные, лидарные, лазерные и другие виды специальных съемок	Фиксирует геометрию отражающей поверхности

Примечания. 1. Визуально различим спектральный диапазон 0,40—0,64 мкм. 2. Диапазон фотографирования 0,40—0,92 мкм. 3. По отдельным участкам Подмоскovie по инфракрасным снимкам системы АГА 680 (ПГО «Аэрогеология») были выделены участки с разной степенью увлажненности почв и болота. 4. При многоспектральной съемке в диапазоне 0,46—0,50 мкм хорошо выделяются вода, строения, экзогенные геологические процессы, в диапазоне 0,52—0,56 мкм — вода и строения, в диапазоне 0,58—0,62 и 0,68—0,78 мкм — сельскохозяйственные угодья, в диапазоне 0,46—0,68 мкм — вода и экзогенные геологические процессы, в диапазоне 0,78—0,88 мкм — экзогенные геологические процессы.

Кроме того, изменения природных систем могут носить и количественный, и качественный характер, что также противоречит принципам оценки изменений лишь по площадям пораженности процессами техногенеза.

Примерно тех же принципов расчета повторных съемок придерживается А. В. Садов, выделяя несколько классов геологической среды (от условно стабильного до ультрадинамичного) и предлагая в зависимости от этого проводить зондирование от одного раза в 10—12 лет до одного раза в год и чаще. Если рассматривать геологическую среду как трехмерное пространство, то в ней можно найти все подобного рода классы в самом тесном единении. Это опять же ведет к условности расчетов повторного контроля ситуации. В другой работе, написанной в со-

авторстве с А. С. Викторовым, А. В. Садов дает интервал повторных съемок в 12—25 лет.

В геоботанике и климатологии есть понятие «стабильная ситуация» природных систем, оцениваемая интервалом их развития в 30 лет. Этот вполне объективный период эволюции растений, на наш взгляд, можно использовать для повторных съемок в ненарушенных или слабо нарушенных условиях на территориях, не затронутых урбанизацией. Но для промышленно освоенных территорий этот срок представляется непомерно большим.

За рубежом, где функционирует большое число информационных систем, использующих принципы мониторинга, также нет единого мнения о принципах расчета времени повторения съемок. В подавляющем большинстве случаев периодичность съемок определяется спросом на конкретную информацию. Вместе с тем в ряде стран проводится плановая периодическая съемка всей территории или каких-либо ее ландшафтных зон. Так, в Великобритании региональная съемка лесов проводится с интервалом в 10 лет. Интересный принцип был положен в основу расчета повторных съемок при эксплуатации экоинформационной системы в штате Огайо (США), где повторное воздушное зондирование территории ведется с 1938 г. Машинная обработка с использованием фотограмметрических измерений, а также кластерного и спектрального анализов показала, что оптимальный интервал между съемками, при котором поиск изменений среды дает результаты, составляет 5—7 лет.

Как показывает опыт изучения геологических процессов в пределах урбанизированных территорий, все эти процессы несут явные следы техногенеза, а сам техногенный фактор нередко играет здесь основную роль среди других факторов процессообразования. Техногенез, техногенные циклы и фазы, стадии развития технической культуры человека, видимо, и должны стать основными критериями расчета сроков повторных съемок. Для Московского региона повторная площадная съемка может проводиться с интервалом в 20 лет. С тем же интервалом обновляются все составляющие картографической модели геологической среды региона. Этот срок согласуется и со сроками реализации Генерального плана развития Москвы и области в соответствии с комплексной программой научно-технического прогресса, действующей в стране. Он также вписывается в пятилетние планы развития народного хозяйства СССР.

Кроме региональной проводится выборочная съемка по отдельным участкам или крупным объектам техносферы, которая делится на плановую и целевую.

Плановая съемка повторяется с учетом устойчивости контролируемых геологических объектов к техногенному воздействию, а целевая производится по мере поступления заявок на ее проведение и помогает решать конкретные народнохозяйственные задачи, принимать решения в случае конфликтных ситуаций в

## Периодичность и масштабы повторных съемок

Динамичность объектов	Индекс	Объекты контроля	Вид съемки (интервал между съемками, годы)	Масштабы съемки
Квазистабильные	I	Геолого-литологическое строение, тектонические нарушения, гидрографическая сеть, общие гидрогеологические условия	Площадная, в том числе высотная аэрофотосъемка (20)	1 : 500 000— 1 : 100 000
Слабо изменяющиеся	II	Подземные воды глубоких горизонтов, объекты техносферы, крупные болота, торфяники	Выборочная (10)	1 : 100 000— 1 : 50 000
Изменяющиеся	III	Природные экзогенные геологические процессы, зона аэрации, техногенные отложения, берега водохранилищ и др.	Локальная (5)	1 : 30 000— 1 : 10 000
Интенсивно изменяющиеся	IV	Инженерно-геологические процессы на стадиях строительства (создания сооружений и начала их функционирования)	Маршрутное обследование, аэрофотосъемка по мере надобности (несколько раз в год)	1 : 5000— 1 : 12 000

системе «человек — среда». Плановая съемка учитывает характер и интенсивность изменений геологической среды. Все изучаемые и контролируемые объекты делятся на группы: I — квазистабильные; II — слабо изменяющиеся; III — изменяющиеся; IV — интенсивно изменяющиеся (табл. 16). Такая классификация помогает конкретизировать время повторных съемок.

Если представить природную среду, а точнее биосферу, в виде системы «техногенный энергомассоперенос — возбуждаемые им процессы — условия их протекания», то именно последняя ее часть, или условия зарождения и протекания геологических процессов, отвечает требованиям квазистабильности. К условиям или факторам-условиям относятся геологические формации, речная сеть, охраняемые лесные массивы, сельскохозяйст-

венные угодья, тектонические нарушения, мезо- и мегаформы рельефа, общие гидрогеологические условия.

Для картографирования этой части информационной нагрузки картографической модели вполне подходят аэро- и космические фотоснимки масштаба 1 : 100 000—1 : 500 000 (см. табл. 16), которые можно увеличить в 2—4 раза.

Контроль за слабо изменяющимися объектами, такими как подземные воды глубоких горизонтов (ландшафтно-индикационное дешифрирование), элементы техносферы, крупные болота и торфяники, требует более детальных выборочных съемок, так как приходится фиксировать не всегда четкие признаки изменений, выражающиеся в слабой смене фототона или цветовых оттенков.

Изменяющаяся ситуация, связанная в большинстве случаев с экзогенными геологическими процессами, требует уточнения примерно раз в 5 лет. Сравнивая снимки, сделанные с интервалом в 5—7 лет, мы легко отмечали новые карстовые воронки, рост оврагов или факты отмирания эрозионных форм. В то же время ежегодные наблюдения за динамикой проявлений многих процессов Подмосквовья волжских водохранилищ, дельты Северной Двины по материалам дистанционных съемок дают, как правило, случайные результаты.

Интенсивное изменение ситуации характерно для начальных стадий функционирования многих ПТС. Так, берега новых водохранилищ в первые годы после их заполнения отступают на десятки метров в год; распашка земель за первые два-три года ликвидирует до 80 % мелких форм, возникших в результате эрозии, карста и очагового заболачивания; закладка карьера или прекращение его эксплуатации порождают целый комплекс процессов — заозеривание, заболачивание, эрозию и оползание. Контроль за такими быстро протекающими процессами требует крупномасштабной съемки небольших участков. Интервалы между съемками в каждом конкретном случае свои.

Плановых площадных съемок всей территории страны для природоохранных целей и увязки планов землепользования в СССР не проводится. Геологическая служба США производит аэрофотосъемку своей страны в масштабах 1 : 80 000 (черно-белая) и 1 : 58 000 (цветная и инфракрасная). Стоимость таких работ высокая, но получаемая информация ее полностью окупает.

Литомониторинг требует значительного совершенствования работ по информационному обеспечению картографической модели. Блоки модели, рассчитанные на использование современной быстродействующей электронно-вычислительной техники, могут поглощать огромное количество информации. Ее объемы несоизмеримо больше, чем это требовалось при обычной инженерно-геологической съемке. В этом случае хорошо отработанные приемы визуального дешифрирования уже не соответствуют заданным темпам мониторинга.

Совершенствование и автоматизация обработки полученных изображений местности основаны на принципах машинной интерпретации и интерактивного общения с ЭВМ. В первом случае человек вводит изображение в компьютерную систему, ставит задачу и на выходе получает ее решение; во втором — активно участвует в обработке изображения.

При автоматизации распознавания объекта на изображении местности широко используются различия оптической плотности и полей яркости снимаемых объектов. Идея структурно-зонального анализа, высказанная Д. Лендайрисом и Д. Стенли в 1970 г., заключается в дифференциации изображения в виде двумерных спектров пространственных частот, характеризующих пространственную оптическую структуру изображения.

Структурный анализ может проводится как на аналоговых (оптических), так и на цифровых системах. Удобно использовать гибридный процессор, обеспечивающий ввод, предварительную обработку и Фурье-анализ изображений в оптическом модуле системы, решение задач классификации и опознавания на ЭВМ.

В СССР создана программа «Регион», используемая для поиска рудоносных структур. В нее может быть заложено автоматическое выделение крупных линейментов, контактов залегающих вблизи поверхности пород и т. д. Аналогичные цели, но с распознаванием сравнительно мелких объектов, преследует программа с тем же названием «Регион», используемая специалистами Всесоюзного объединения «Леспроект» для автоматической регистрации таксационных показателей. По набору признаков они близки к фотоизображению крупных проявлений экзогенных геологических процессов.

В основе механического распознавания объекта лежит сопоставление всей мозаики фотоландшафта с неким эталонным изображением, лишенным «шумовых» накладок. Сам эталон препарирован и представлен в виде набора (ряда) характерных спектральных и яркостных свойств, фотометрических и статических параметров, которые затем сопоставляются с теми же признаками введенного в ЭВМ фотоландшафта. Используя банк эталонных данных, машина последовательно сопоставляет и классифицирует фотометрические показатели с применением непараметрических решающих процедур по  $k$  ближайшим точкам в  $n$ -мерном пространстве признаков.

Для прецизионного структурно-зонального анализа фирмой «Карл Цейсс, Йена» (ГДР) разработана когерентная оптическая установка «OFTA» (анализатор оптического Фурье-преобразователя). В СССР идут работы над действующим макетом когерентной оптической системы «Спектр» для анализа спектров пространственных частот изображения и их преобразования.

Фирмой «Оптроникс» (США) разработана аппаратура типа Р-1700, которая широко использовалась для обучения аэрогео-

логов приемам автоматического и полуавтоматического дешифрирования. Система включает высокоточное фотосчитывающее устройство барабанного типа — сканирующий микроденситометр. Эта аппаратура была включена специалистами Лаборатории аэрометодов ПГО «Аэрогеология» в созданную там систему автоматизации процесса дешифрирования на базе ЭВМ ЕС-1020. Помимо аппаратуры ввода-вывода изображения (Р-1700) система включает фототелеграфный комплекс «Нева» и графопостроители. Позднее этот технический комплекс был дополнен новой аппаратурой ввода-вывода изображений «Формат», а старая ЭВМ была заменена на более мощную с матричным процессором.

Комплекс ввода-вывода и предварительной обработки изображения «Формат-СМ» разработан в СССР. В нем использовано плоское устройство преобразования изображения, его ввода-вывода с помощью двухкоординатного шагового двигателя, микроЭВМ, крейта КАМАК, модуля полупроводниковой памяти с дисковой организацией и цветного дисплея.

Ленинградские аэрогеологи используют измерительно-вычислительный комплекс серии ИВК-4 и установку «Формат-СМ», оснащенные процессорами типа СМ-2501 для интерпретации изображения и оборудованные средствами связи с автоматизированными рабочими местами дешифровщиков (АРМ-Д), разработанными специалистами Лаборатории аэрометодов.

Разнообразие технических средств преобразования изображения и его интерпретации открывает новые возможности для создания гибких модульных комплексов, в которых в единую систему увязана аппаратура ввода и оцифровки изображения, его преобразования и интерпретации. Такой комплекс может быть прямо связан с сенсорами (датчиками) съемочной или приемной аппаратуры. Модульные комплексы уже используются в ряде научных и производственных объединений. В частности, могут сочетаться ЭВМ РДР 22-34 и СМ-4 с системой ввода-вывода «Скандинг» и цветными дисплеями. В комплексе «Прогноз», прошедшем испытания в ПГО «Аэрогеология», в одну систему объединяются отечественные и зарубежные технические средства автоматического и полуавтоматического дешифрирования: СВИТ, «КТС», «Роботрон», «Омега» и «Спектр». Здесь предусмотрен анализ фотоплотности (яркости) изображения, спектральных параметров (цвета), текстуры или рисунка видеоландшафта. Та же система использовалась для создания искусственного «стереопартнера» для снимков, не имеющих стереопары.

Вычислительный комплекс «Прогноз» выполняет обработку цветных и черно-белых изображений в пакетном (автоматическом) и интерактивных режимах. Результаты обработки выводятся на графопостроитель и прецизионный цветной фотопринтер.

Для преобразования изображения наиболее удобна его цифровая модель, особенно когда информация поступает с внешнего съемочного аппарата уже в закодированном виде. Перевод видеомодели на машинные носители осуществляется без особых потерь качества изображения. Например, далеко не новый факсимильный аппарат «Штрих-М» в сочетании с ЭВМ М-6000 обеспечивает дискрецию оптических плотностей через построчное сканирование фотоизображения с шагом 0,25 мм и скоростью 120 строк в минуту. Преобразователь аналог-код разрядностью 1 байт и устройство управления фиксируют 256 градаций полутонов. Комбинированные способы оптико-аналоговой и цифровой обработки позволяют представить эти градации в виде 64 цветных полутонов. Такой способ цветопередачи особенно эффективен при многозональных съемках для дифференциации изображений в разных зонах спектра и синтеза их. В настоящее время создано немало экспериментальной и серийной аппаратуры для подобного преобразования изображения. Широко используются во всем мире серийные многозональные проекторы МСП-4 Ц «Карл Цейсс, Йена» и аналоговые электронные синтезаторы 4200 Е (США), серийно выпускается созданный специалистами Института космических исследований и Кировского политехнического института самостоятельный видеоинформационный терминал (СВИТ), предназначенный для обработки изображения и использующий серийные средства советской вычислительной техники: центральный процессор — микроЭВМ «Электроника-60 М» с оперативным запоминающим устройством в 64 кбайт; видеоэкран, имеющий от трех до десяти блоков памяти изображения по  $256 \times 256$  байт и 256 цветных оттенков; алфавитно-цифровой видеоэкран; магнитные диски «Электроника-ГМД» емкостью  $2 \times 256$  кбайт; для ввода — телекамера «ВЗОР» с разрешающей способностью 400 телевизионных линий; для вывода — алфавитно-цифровое печатающее устройство. СВИТ снабжен программами цветного кодирования, геометрических преобразований, статистического и пространственно-частотного анализа, моделирования графических элементов.

В практике геологических и географических исследований применяется также французский преобразователь изображения «Периколор-1000» или его более поздняя модификация «Периколор-2000». В этой системе используются центральный 16-битовый процессор с оперативным запоминающим устройством в 64 кбайта, графический видеоэкран СД 251, который имеет до восьми блоков памяти изображения по  $512 \times 512$  байт. На пульте оператора находится алфавитно-цифровой видеоэкран АДМ-11. В систему включены встроенный диск типа «Винчестер» в 20 Мбайт и гибкие диски на 1000 кбайт каждый. Устройство вывода двух типов: алфавитно-цифровое и цветное струйчатое, имеющее 125 градаций по тону и плотности выходного изображения. Программное обеспечение системы «Периколор» развито

больше, чем у систем СВИТ и «Роботрон». Применяемая здесь операционная система в сочетании с языками высокого уровня позволяет еще больше расширить программное обеспечение.

И наконец, если говорить о машинном или машинно-визуальном дешифрировании в нашей стране, то нельзя не сказать об аналитической стереодисплейной системе цифровой обработки изображений для дистанционного мониторинга геологической среды горнорудных районов и административно-хозяйственных центров. Система помимо миниЭВМ включает аналитический стереофотограмметрический прибор с шестикоординатным позиционером для управляемых ЭВМ перемещений снимков, стереодисплей высокого разрешения с анаглифическим способом наблюдения динамической стереомодели и аналитическим методом коррекции точек, а также устройство перезаписи с накопителя на магнитной ленте и с прецизионного устройства ввода изображения на цифровой видеомагнитофон.

Одно из наиболее перспективных направлений машинно-визуального дешифрирования основано на измерении плотности изображения с помощью различного рода денситометров, позволяющих определять цвет разноокрашенных участков через цветные светофильтры.

Для предварительной обработки изображения удобны новые приборы, в которых используются электрооптические эффекты на базе жидких кристаллов. Они позволяют работать сразу с несколькими вариантами изображения, различающимися своими сенситометрическим или структурным показателями.

Ошибки дешифрирования в большинстве случаев связаны с «шумовыми» элементами изображения. Аэрогеологи знают, какие серьезные различия имеют два снимка одного и того же участка, сделанные, например, до дождя и после него или в разное время суток. Радиометрическая коррекция изображения помогает устранить нарушения изображения типа «блик солнца», «солнечная дорожка», «горячая точка» и некоторые другие флуктуации сигнала на экране, которые легко учитываются опытным дешифровщиком.

Фотометрирование помогает очистить изображение от случайных элементов и перевести его в дискретный массив чисел, кодирующих величины яркости и оптической плотности. Такой массив чисел можно легко преобразовать в графическую форму — поверхность топографического порядка, которая представляет собой плановую систему непересекающихся линий — изоденсит. Изоденситы, или линии равных оптических плотностей, позволяют выделять различные, хорошо различаемые на изображении геологические тела, тектонические нарушения и инженерные конструкции.

Физиономичность геологической составляющей фотоландшафта может быть искусственно повышена аналоговыми системами типа «Денситрон» (ГДР), которые выполняют интерваль-



ное квантование изображения с цветовым кодированием выбранных интервалов плотности. Свой цвет присваивается участкам с выбранной оптической плотностью (цветовые эквиденситы) или участкам, оптическая плотность которых не превышает заданных пороговых значений (цветовые изогелы).

Правильно подобранные градации плотности фототона дают возможность выделить структуру ландшафта в чистом виде без искажений и затененности, связанных с сезоном съемки или техническим несовершенством процесса воспроизведения изображения.

Реально сократить время, затрачиваемое на дешифрирование, позволяют приемы формализации эталонных изображений, выделения их консервативной части — текстуры фотоландшафта (*К*-текстуры). Внешний рисунок фотоландшафта имеет как бы консервативный каркас, не подверженный случайным изменениям, на который не влияют ни способы съемки и технологии проявления (технологические «шумы»), ни время суток или сезон съемки (естественные «шумы»).

*К*-текстура болот Мещеры, дельты Северной Двины и тундровых районов Западной Сибири четко проявляет морфологические типы болот и торфяников, отделяет открытое водное пространство, торфяные берега, участки топи, торфяные тряды, островки минеральных образований, дороги и тропы, покрытые лесами и кустарником пространства. *К*-текстуры нарушенных земель на месте торфоразработок отражают все особенности технологии торфодобычи и пути эволюции или самовосстановления нарушенных ландшафтов. Рисунок верхней бровки берегов водохранилищ как элемент *К*-текстуры отражает темпы их отступления при переработке, тип и характер основного процесса, формирующего новый береговой склон. Примеры построения *К*-текстур для динамично меняющихся ландшафтов можно продолжить, охватив архитектурные ансамбли, города и промышленно-индустриальные комплексы. Подборка ландшафтно-генетических рядов в виде цепочек сменяющих друг друга *К*-текстур открывает широкие возможности прогноза эволюции и изменения природных и природно-технических систем, контролирования его достоверности и систематического уточнения ситуации. Использование *К*-текстур расширяет возможности структурно-зонального дешифрирования, использования отечественных установок «Роза», «Когерент» и «Спектр».

Но на сегодня, по-видимому, правы те исследователи, которые считают, что автоматическое дешифрирование к радикальному решению проблемы интерпретации изображения еще не привело. Хотя с отдельными, «рутинными» операциями дешифрирования машины вполне справляются, а дальше круг этих операций будет расширяться.

С совершенствованием техники съемки из космоса аэрофотометоды постепенно вытесняются космической съемкой как

экономически более выгодной. Этот процесс заметно активизируется с выводом на орбиту таких спутников как «Ландсат Д», «Ландсат 5» и «СПОТ», транслирующих изображение поверхности с разрешением в 10—30 м (а в недалекой перспективе в 7 м). При этом «СПОТ» ведет съемку в трех спектральных интервалах (разрешение 20 м), а также в панхроматическом режиме (разрешение 10 м) при полосе обзора шириной 60 км. Все больше совершенствуется отечественная система «Метеор-Природа», работающая с июня 1980 г. и имеющая бортовые сканирующие аппараты МСУ-Э, МСУ-С и «Фрагмент».

По свидетельству Дж. Лаунде (США), советские космические фотографии, качество которых было проанализировано специалистами Орегонского университета в 1988 г., имели разрешающую способность 5 м (фотокамера КФТ-1000). По своим техническим качествам они превосходили снимки со «Спейс Шаттла», имевшие разрешение на местности 10 м.

НАСА наряду с совершенствованием средств съемки организует глобальную спутниковую информационную систему, оснащенную фотокамерами, сканирующими устройствами и радарами. Эта программа реализуется с начала 1980-х гг., с момента запуска корабля многоразового использования «Спейс Шаттл» (десятиканальная аппаратура съемки, инфракрасный радиометр, радар бокового обзора) и технологического спутника «Ландсат Д» (семь диапазонов съемки).

Предполагается, что под эгидой Международного комитета по координации дистанционных исследований (ГеоСАТ), координирующего тематическое геологическое картирование, будут работать 16 приемных станций в разных районах земного шара. Принимаемая с аппаратов «Ландсат Д», «Спейс Шаттл» и «СПОТ» информация пройдет обработку в едином центре, расположенном в г. Сью-Фоллз (США). В этом центре концентрируется современная электронная аппаратура по синтезу, автоматизированной обработке, преобразованию и хранению видеoinформации.

Таким образом, оперативный контроль за состоянием геологической среды опирается прежде всего на современные дистанционные методы зондирования биосферы. Подобного рода контроль — уже не задача и даже не цель, а принцип, теория взаимоотношения среды и общества. Сегодня уже трудно представить себе функционирование постоянно действующей модели региональной природно-технической полисистемы на основе данных, полученных при использовании традиционных методов инженерно-геологической съемки, которая нередко освещает ситуацию не выходя за границы зоны аэрации.

Потенциал аэрокосмических методов далеко не исчерпан. Более того, сейчас мы, по-видимому, лишь в самом начале их становления и развития. Этому процессу во многом мешают организационные трудности и инерция мышления, когда приходит-

ся сталкиваться с отнесением дистанционных методов к вероятностным, неточным, в отличие от наземных методов исследования. Хотя нередко на практике можно наблюдать обратный эффект.

В 1986 г. выпускается ряд документов, регламентирующих аэрокосмический мониторинг геологической среды как систему периодических наблюдений. А в 1987 г. небольшим тиражом выходят разработки по регламентации требований к аэрокосмической информации, необходимой для систематического изучения и контроля геологических процессов в зонах интенсивного хозяйственного освоения. В то же время были начаты производственные работы по аэрокосмическому мониторингу геологической среды Московского региона силами Московской геолого-гидрогеологической экспедиции ПГО «Центргеология». Несколько позже к этим работам присоединились специалисты объединения «Аэрогеология». В настоящее время в том же направлении ведут свои работы геологи ВСЕГИНГЕО и Государственного центра «Природа». Базовая картографическая модель была создана в центральной инженерно-геологической экспедиции ПГО «Центргеология» под научным руководством авторов настоящей работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бондарик Г К Общая теория инженерной (физической) геологии — М Недра, 1981
- 2 Валях В М Аэрофотографические и сканерные аэрометоды при инженерно-геологических исследованиях — М Недра, 1982
- 3 Вернадский В И Избранные сочинения — М Изд-во АН СССР, 1960, т 5
- 4 Викторов С В Ландшафтные индикаторы гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах орошения и обводнения пустынь — М Недра, 1976
- 5 Виноградов Б В Аэрокосмический мониторинг экосистем — М Наука, 1984
- 6 Вопросы и методика комплексного картографирования городских территорий для прогнозной оценки изменений геологической среды — В кн Новые типы карт Методы их создания/Г А Голодковская, Ю О Зеегофер, Н И Лебедева и др — М Изд во МГУ, 1983, с 48—73
- 7 Голодковская Г А Инженерно геологическое картирование в связи с охраной геологической среды — В кн Вопросы грунтоведения и инженерной геологии — М Изд-во МГУ, 1978, с 135—145
- 8 Голодковская Г А, Лебедева Н И Инженерно-геологическое районирование территории Москвы — Инженерная геология, 1984, № 3, с 87—102
- 9 Голодковская Г А, Лебедева Н И Научно методические основы картирования изменений геологической среды — В кн Инженерная геология сегодня теория, практика, проблемы — М Изд-во МГУ, 1988, с 38—65
- 10 Горшков С П Экзодинамические процессы освоения территорий — М Недра, 1982
- 11 Григорьева А А Исторические уроки взаимодействия человека с природой — Л Знание, 1986
- 12 Демидюк Л М Проблема рационального использования инженерно-геологических ресурсов в рамках инженерной геологии месторождений полезных ископаемых — В кн Вопросы грунтоведения и инженерной геологии — М Изд-во МГУ, 1978, с 252—259

13 *Елисеев Ю Б, Смирнова В П* Картирование изменений геосреды агропромышленных территорий — В кн Гидрогеология и инженерная геология — М 1981, вып 11, с 14 (ВИЭМС)

14 *Зеегофер Ю О, Лихачева Э А* К вопросу обоснования прогностических моделей геологической среды Бассейновый подход на примере Московского столичного региона — В кн Природа и природные особенности Москвы и Подмосковья и использование их в народном хозяйстве — М 1984, с 41—61 (Московский филиал Географического об-ва АН СССР)

15 *Израэль Ю А* Экология и контроль состояния природной среды — Л Гидрометеониздат, 1979

16 *Клюевин А Н, Сумароков М В* Определение коэффициента фильтрации рыхлых отложений при решении гидрогеологических задач в системе ПДМ городских агломераций — Разведка и охрана недр, 1984, № 10, с 50—52

17 *Комаров В Б, Можаяев Б Н* Современные аспекты разработки и использования дистанционных методов при геологических исследованиях в СССР — В кн Док XXVI сессии МГК — М Наука, 1980, с 102—109

18 *Комаров И С, Гудилин И С* Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях — М Недр, 1978

19 *Коплан-Дикс И С, Назаров Г В, Кузнецов В К* Роль минеральных удобрений в эвтрофировании вод суши — Л Наука, 1985

20 *Космическая геология* (Материалы симпозиума НАСА по исследованию ресурсов Земли) — Л Недр, 1979

21 *Кочергин А Н, Марков Ю Г, Васильев Н Г* Экологическое знание и сознание — Новосибирск Наука, 1987

22 *Кронберг П* Дистанционное изучение Земли — М Мир, 1988

23 *Круть И В* Введение в общую теорию Земли — М Мысль, 1978

24 *Методическое руководство по инженерно геологической съемке масштаба 1:200 000* — М Недр, 1978

25 *Методы типизации и картирования геологической среды городских агломераций для решения задач планирования инженерно-хозяйственной деятельности* — В кн Задачи и принципы построения моделей геологической среды градопромышленных комплексов/Л К Гохберг, И С Пашковский, А А Рошаль, Ю О Зеегофер — М 1981, с 26—32 (ПО «Стройизыскания»)

26 *Мильков Ф Н* Рукотворные ландшафты — М Наука, 1978

27 *Многочастотные аэрокосмические съемки Земли* — М Наука, 1981

28 *Сергеев Е М* Достижения советской инженерно-геологической науки за последние годы и задачи на ближайший период — Инженерная геология, 1981, № 1, с 3—10

29 *Сергеев Е М* Задачи инженерной геологии в свете решений XXII съезда КПСС — Инженерная геология, 1986, № 5, с 3—9

30 *Сергеев Е М* Инженерная геология — М Изд-во МГУ, 1982

31 *Сергеев Е М* Теоретические основы и проблемы инженерной геологии — В кн Докл 27-го Международного геологического конгресса, секция С 17, т 17 — М Наука, 1984, с 15—16

32 *Соколов В Е, Виноградов Б В* Программа «Человек и биосфера», аэрокосмические исследования — Природа и ресурсы (ЮНЕСКО), т 22, № 1—2, 1986, с 13—24

33 *Теоретические основы инженерной геологии* Геологические основы — М Недр, 1985

34 *Трофимов В Т* Сравнительная оценка сложности инженерно-геологических условий различных районов Западно-Сибирской плиты — В кн Вопросы инженерной геологии и грунтоведения — М Изд-во МГУ, 1978, с 150—163

35 *Хайме Н М, Хорев В С* Вопросы информационного обеспечения инженерно-геологических изысканий для объектов массового строительства — Инженерная геология, 1986, № 5, с 37—49

36 *Kowalski W C* The evolution of map's environment in the Holocene in Poland — Bull Geol Warsaw Univ, 1975, v 19, p 74

37 *Mann R E* Global Environmental Monitoring System, SCOPE, Rep 3, Toronto, 1973, p 5—10

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	3
Глава 1. Геологическая среда как предмет изучения . . . . .	5
1.1. Актуализация проблемы взаимодействия общества и геологической среды. Инженерная геоэкология . . . . .	5
1.2. Геологическая среда и ее место среди других оболочек Земли. . . . .	20
1.3. Методологические основы изучения геологической среды . . . . .	28
Глава 2. Московский регион — экспериментально-производственный полигон инженерно-геоэкологических исследований . . . . .	75
2.1. Характеристика геологической среды . . . . .	75
2.2. Техносфера региона . . . . .	111
2.3. Инженерно-геологическое типологическое районирование . . . . .	126
2.4. Изменения геологической среды . . . . .	147
Глава 3. Геомониторинг и дистанционный контроль геологической среды . . . . .	195
3.1. Задачи и структура . . . . .	195
3.2. Постоянно действующая модель как информационная система . . . . .	198
3.3. Дистанционные методы контроля за состоянием геологической среды . . . . .	201
Список литературы . . . . .	218

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ (ПРАКТИЧЕСКОЕ) ИЗДАНИЕ

Голодковская Галина Андреевна  
Елисеев Юрий Борисович

## ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СРЕДА ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

Заведующий редакцией Л. Н. Аважанская  
Редактор издательства О. Л. Виноградова  
Художественный редактор В. В. Шутько  
Обложка художника Б. К. Силаева  
Технические редакторы А. А. Бровкина, Л. Я. Голова  
Корректор Г. П. Вергун

ИБ № 7654

---

Сдано в набор 24.05.89	Подписано в печать 26.09.89	Т 06796	Формат 60×90 <sup>1/16</sup>
Бумага книжно-журнальная и картографическая		Гарнитура	Литературная
Печать высокая	Усл. печ. л. 13,9 (с вкл.)	Усл. кр. отт.	14/15
Тираж 1560 экз.	Заказ 941/1753—4	Цена	75 коп.
		Уч. изд. л.	15/25

---

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,  
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3  
Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ