

А.А. Шварц

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Учебное пособие

ВВЕДЕНИЕ

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ — СОСТАВЛЯЮЩАЯ ЧАСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

- Основные компоненты состава пресных подземных вод
- Основные процессы, определяющие условия формирования химического состава пресных подземных вод

ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ЭКОСИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА

- Значение химического состава воды при ее использовании
- Основные нормативные документы России и Всемирной организации здравоохранения, регламентирующие состав питьевых вод
- Экзогенные гипер- и гипомикроэлементозы
- Классификация подземных питьевых вод по качеству
- Комплексные методы оценки качества подземных вод
- Влияние загрязнения подземных вод на окружающую среду

ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ВИДОВ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

- Защищенность подземных вод
- Влияние на подземные воды горнодобывающей индустрии
- Влияние промышленности на подземные воды
- Изменение гидрогеохимических условий на урбанизированных территориях
- Влияние на подземные воды сельскохозяйственного производства и гидротехнических сооружений

ВИДЫ И МЕТОДЫ ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Мониторинг состояния подземных вод
- Принципы эколого-гидрогеологического картографирования
- Прогнозные модели
- Минимизация отрицательного воздействия на подземную гидросферу

ВВЕДЕНИЕ

Вода, являясь одним из самых распространенных веществ в природе, представляет собой уникальное соединение, благодаря которому на Земле зародилась и существует такое явление, как Жизнь, все то, что мы называем биосферой. Все природные воды теснейшим образом взаимосвязаны и образуют гидросферу, сплошную водную оболочку Земли. Вода в виде молекул H_2O отмечается в литосфере и атмосфере, а биосфера более чем на три четверти состоит из воды. Гидросфера — динамичная система, в которой между водными массами всех оболочек Земли поддерживается динамическое равновесие. С участием воды совершается кругооборот веществ и энергии в природе. Значительную роль в глобальном круговороте воды играет подземная составляющая. Здесь можно выделить подземный сток атмосферных осадков и преобразования воды во время таких геологических процессов, как седиментация, перекристаллизация пород и т.д. Следует также упомянуть об образовании воды из мантийных газов. Таким образом, подземные воды, характеризуясь особыми условиями миграции и разнообразными условиями формирования химического состава, являются составной частью единой гидросферы Земли. В настоящее время все большую остроту приобретает проблема пресной воды. На XXXV сессии Генеральной Ассамблеи ООН было объявлено, что более миллиарда людей планеты страдает от недостатка доброкачественной воды, необходимой для питья и хозяйственных нужд. Только для поддержания жизни человеку ежедневно необходимо около 2 л воды, а житель современного благоустроенного города в сутки расходует от 100 до 1000 л. Еще больше расход пресной воды в промышленности: для производства одной тонны стали расходуется 150–200 м³ воды, меди — 500, бумаги 450–1000, искусственного волокна 2000–6000 м³. В связи с глобальным загрязнением поверхностных вод централизованное водоснабжение все в большей степени ориентируется на подземные воды. Так, в России более 60% городов использует для водоснабжения подземные резервуары. В других странах доля подземного водоснабжения еще выше. Однако в условиях растущей техногенной нагрузки на окружающую среду подземные воды также подвергаются загрязнению и истощению. В связи с этим при решении проблем охраны и рационального использования окружающей среды подземные воды, которые являются одной из наиболее используемых, уязвимых и динамичных составляющих геологической среды, занимают особое место. Пресные подземные воды являются основным объектом изучения экологической гидрогеологии. *Экологическую гидрогеологию можно определить как учение о роли гидрогеологических условий в существовании и развитии биосферы при негативном влиянии техногенеза [43, 44].*

Основными предметами изучения экологической гидрогеологии являются:

- Влияние естественных и техногенных гидрогеологических условий на биосферу и, прежде всего, на человека.
 - Гидрогеологические аспекты изменения свойств геологической среды под воздействием человеческой деятельности.
 - Прогноз и профилактика отрицательного воздействия на подземные воды.
 - Принципы охраны и рационального использования подземной гидросферы.
- Экологическая гидрогеология является комплексной, междисциплинарной наукой, охватывающей целый ряд разделов гидрогеологии, экологии, токсикологии, химии, радиоэкологии и других наук. В связи с этим, из-за большого объема рассматриваемых вопросов в данном учебном пособии материал изложен в тезисной форме. Основное внимание уделено комплексному подходу к проблемам. Для более глубокого знакомства с имеющимися данными читателю рекомендуется обратиться к специальным научным, справочным и учебным публикациям. Этим объясняются значительные размеры списка литературы.

I. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ— СОСТАВЛЯЮЩАЯ

ЧАСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

В последнее время верхнюю часть земной коры все чаще рассматривают как элемент среды обитания человека. В связи с этим в литературе прочно укоренилось понятие "геологическая среда". Академик Е.М.Сергеев отмечал, что под *геологической средой* следует понимать *верхнюю часть литосферы, которая рассматривается как многокомпонентная динамическая система, находящаяся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека и, в свою очередь, в известной степени определяющая эту деятельность*. Н.И.Плотников, уточняя понятие "геологическая среда", характеризует ее как неотъемлемую часть окружающей среды и биосферы, охватывающую верхние разрезы гидрогеосферы, в которую входят четыре важнейших компонента: горные породы (вместе с почвой), подземные воды (вместе с жидкими углеводородами), природные газы и микроорганизмы, постоянно находящиеся в равновесии и формирующие в естественных и нарушенных условиях динамическое равновесие [42]. Учитывая, что именно состояние этого равновесия и определяет состав подземных вод, их можно рассматривать не только как наиболее используемую, уязвимую и динамичную составляющую геологической среды, но и как основной индикатор ее состояния. При организации центров мониторинга состояния геологической среды основное внимание уделяется подземным водам, в первую очередь пресным, которые помимо всего прочего являются и ценнейшим полезным ископаемым.

■ 1.1. Основные компоненты состава пресных подземных вод

Несмотря на малую минерализацию, до 1,5 г/л, пресные подземные воды представляют собой сложную многокомпонентную систему, включающую целый комплекс неорганических и органических соединений, газов и живого вещества. Несмотря на малую минерализацию, до 1,5 г/л, пресные подземные воды представляют собой сложную многокомпонентную систему, включающую целый комплекс неорганических и органических соединений, газов и живого вещества.

Неорганические вещества — макро- и микрокомпоненты. В зависимости от концентрации неорганических веществ в подземных водах выделяют макрокомпоненты (десятки и сотни мг/л) и микрокомпоненты (менее 1 мг/л). Макрокомпоненты определяют химический тип воды и, как следствие, ее основные потребительские свойства. В первую очередь, к ним следует отнести Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} и HCO_3^- . Концентрации и возможность накопления в подземных водах макрокомпонентов определяются геолого-гидрогеологическими условиями данного района и во многом зависят от минерального состава водовмещающих пород. К микрокомпонентам можно отнести все другие элементы. В настоящее время в воде их обнаружено более 80. Большая часть из них содержится в воде в концентрациях менее 1 мкг/л. В табл. 1 приведен порядок максимальных концентраций химических элементов, обнаруживаемых в пресных подземных водах [22].

Таблица 1

Элемент	С, мг/л	Элемент	С, мг/л	Элемент	С, мг/л	Элемент	С, мг/л
N	n-100	In	<0,00n	Nd	<0,00n	Sc	0,00n
Al	0,n; n	I	0,n	Ni	0,0n	Sr	n-10
Ba	0,n	Yb	0,00n	Nb	0,0n	Sb	0,0n
Be	0,00n	Y	0,0n	Sn	0,0n	Tl	0,0n
B	n	Cd	0,0n	Pd	<0,00n	Ta	0,00n
Br	0,n	K	n-10	Pt	<0,00n	Te	0,00n

V	0,00n	Ca	n·100	Pr	<0,00n	Tb	<0,00n
Bi	<0,00n	Co	0,00n	Pm	<0,00n	Ti	0,n
W	0,0n	Si	n·10	Ra	n·10 ⁻¹⁰	Th	0,0n
Gd	<0,00n	La	0,0n	Re	0,00n	Tu	<0,00n
Ga	0,n	Li	0,n	Hg	0,00n	C	n·100
Hf	<0,00n	Lu	<0,00n	Rb	0,0n	U	0,0n
Ge	0,00n	Mg	n·100	Ru	<0,00n	P	0,n
Ho	<0,00n	Mn	0,n	Sm	<0,00n	F	n·10
Du	<0,00n	Cu	0,0n	Pb	0,0n	Cl	n·100
Eu	<0,00n	Mo	0,0n	Se	0,0n	Cr	0,0n
Fe	n·10	As	0,0n	S	n·100	Cs	0,0n
Au	0,00n	Na	n·100	Ag	0,0n	Zn	0,n
				Zr	0,00n	Er	<0,00n

Из приведенных данных видно, что не любая пресная подземная вода может использоваться для питьевого водоснабжения, так как содержание многих микрокомпонентов в естественных условиях может превышать установленные ПДК (предельно допустимые концентрации).

Отдельной группой среди неорганических веществ следует выделить радиоактивные элементы. Концентрации радиоактивных элементов измеряются не в весовых единицах на объем, а в количестве распадов изотопа за секунду в единице объема. Один распад в секунду в радиологии получил название беккерель (Бк). Таким образом, концентрации радиоактивных элементов в воде измеряются в беккерелях на литр. Наиболее распространенными естественными радиоактивными изотопами в природных водах являются изотопы калия с атомным весом 40 (⁴⁰K), радия (²²⁶Ra), радона (²²²Rn), урана (²³⁸U). Как правило, их суммарная концентрация не превышает 10 Бк/л, однако в местах, где в геологическом разрезе встречаются радиоактивные минералы, концентрация естественных радиоэлементов в воде может достигать тысячи и более Бк/л.

Органические вещества. Пресные подземные воды всегда содержат то или иное количество органического вещества. В естественных условиях их содержание, как правило, уменьшается с глубиной. Состав органических веществ довольно сложен и может быть представлен всеми классами органических соединений. Наиболее распространены высокомолекулярные кислоты (например, гуминовые кислоты и фульвокислоты). Они постоянно присутствуют в грунтовых водах в количестве от одного до нескольких мг/л. В последние годы в подземных водах обнаружен целый ряд аминокислот, являющихся структурными элементами белков. Кроме того, в пресных подземных водах нефтегазоносных провинций, как правило, присутствуют нафтеновые кислоты и различные углеводородные соединения. Так как определение отдельных органических соединений в подземных водах затруднено, то, как правило, оценивается их суммарное число. Наиболее распространена суммарная оценка органических веществ с помощью величины окисляемости (мгО/л) количества органических углерода (C_{орг}) и азота (N_{орг}). Наиболее точной характеристикой общего содержания органических веществ в подземных водах является количество C_{орг}.

Микроорганизмы. Из микроорганизмов наибольшее значение в пресных подземных водах имеют бактерии, также встречаются микроскопические водоросли, простейшие и вирусы. Различают аэробные и анаэробные бактерии. Первым для развития требуется кислород, вторые существуют при его отсутствии, восстанавливая сульфаты, нитраты и другие кислородсодержащие вещества. В пресных подземных водах зоны активного водообмена развиваются гнилостные, сапрофитные, денитрифицирующие и клетчатковые бактерии. Общее число бактерий может

достигать миллиона на 1 мл воды, микроскопических водорослей — тысяч на один литр, простейших — сотен и тысяч на один литр. Число бактерий в воде зависит, главным образом, от наличия в ней питательных веществ. Болезнетворные бактерии, для развития которых нужен живой белок, сохраняются в подземных водах, как правило, не более 400 сут.

Газы. Основными газами, растворенными в пресных подземных водах, являются кислород, азот, углекислый газ и сероводород. В незначительных количествах встречаются и все остальные газы. По генетическим признакам выделяют газы воздушного происхождения (O_2 , N_2 , CO_2), биохимические (CO_2 , H_2S , N_2) и газы ядерных превращений (He, Ra). Наиболее негативное влияние на потребительские свойства воды оказывает наличие в ней сероводорода. Это связано не только с органолептическими показателями. Сероводород вызывает интенсивную коррозию металлических обсадных труб и другого оборудования в результате образования гидротроилита ($FeS \cdot nH_2O$).

В пресных подземных водах преобладают растворенные формы химических элементов. Коллоидные формы присутствуют в основном только в грунтовых водах. Главным образом это соединения элементов с органическими веществами гумусового ряда, особенно с фульвокислотами, а также полимерные соединения кремнезема. В истинном растворе вещество может находиться в виде простых и комплексных ионов, а также нейтральных ионных пар и молекул.

1.2. Основные процессы, определяющие условия формирования химического состава пресных подземных вод

Практически все пресные подземные воды по своему генезису относятся к инфильтрационным, т.е. образовавшимся в результате инфильтрации атмосферных осадков. В дальнейшем химический состав инфильтрационных вод формируется под действием физико-химических и биохимических процессов, приводящих к равновесию между водой, водовмещающими породами, газами и живым веществом. Среди них в первую очередь следует выделить: растворение — процесс перехода вещества из твердой фазы в жидкую, сопровождающийся разрушением кристаллической структуры твердой фазы, выщелачивание — избирательное извлечение какого-либо компонента из твердого вещества, сохраняющего при этом свою кристаллическую структуру, кристаллизацию — процесс выделения твердой фазы из насыщенного раствора, сорбцию и десорбцию — процесс избирательного поглощения или выделения газообразных и растворенных веществ твердой фазой, ионный обмен — процесс эквивалентного обмена веществом между твердой и жидкой фазами, биохимические процессы — процессы, связанные с окислением или восстановлением вещества под действием микроорганизмов. Все вышеперечисленные процессы взаимосвязаны и, в свою очередь, определяют характер окислительно-восстановительных реакций, протекающих в самом водном растворе. Геохимии пресных подземных вод посвящена монография [22], а также отдельные главы в работах [2, 18].

Далее рассмотрим *миграцию вещества в подземных водах*. Подземные воды представляют собой сложную подвижную среду. Миграция вещества происходит преимущественно вследствие конвекции, т.е. перемещения вещества вместе с водной фазой. При очень малых скоростях потока возрастает роль диффузии — миграции вещества благодаря наличию градиентов концентрации. В реальном диапазоне скоростей фильтрации подземных вод массоперенос осуществляется главным образом путем конвекции, т.е. вместе с потоком жидкости. Средняя действительная скорость потока V определяется уравнением: $V = kI/n$, где k — коэффициент фильтрации, I —

напорный градиент, n — активная пористость.

В процессе миграции происходит диффузионное и фильтрационное рассеивание вещества, т.е. его дисперсия. Фильтрационная дисперсия обусловлена ветвлением элементарных струек воды в результате неоднородности поля скоростей потока внутри порового пространства (микродисперсия) и неоднородности пор в водовмещающих породах (макродисперсия). Таким образом, при миграции вещества в подземных водах образуется ореол его рассеивания с уменьшением концентраций к его краям. Более подробно теория массопереноса изложена в работах [6, 11, 24, 33].

Помимо дисперсии, миграция вещества в подземных водах сопровождается химическими, биохимическими и физико-химическими процессами, направленными на приведение в равновесное состояние системы вода - порода. В случае попадания в подземные воды загрязняющих веществ совокупность перечисленных выше процессов обобщается понятием самоочищение.

Самоочищение подземных вод от неорганических веществ происходит, как правило, вследствие осаждения компонентов раствора на геохимических барьерах. Понятие о геохимических барьерах было сформулировано А.И.Перельманом [40]. Геохимический барьер — это зона, в которой на коротком расстоянии происходит резкая смена гидрогеохимических условий миграции химических элементов, что вызывает осаждение этих элементов в твердую фазу. Геохимические барьеры возникают не только на границе разных фаз, но и в однородной среде, например, при изменении E_h — pH условий подземных вод или концентраций отдельных компонентов раствора. Основными геохимическими барьерами, приводящими к самоочищению пресных подземных вод, являются окислительный (кислородный), восстановительный, щелочной (гидролитический и карбонатный), сульфидный, кислый, сорбционный гидроксидный и сорбционный глинистый.

Окислительный барьер заключается в окислении более растворимых восстановленных соединений в менее растворимые окисленные. Например, способность околонефтяных и особенно щелочных подземных вод осаждать элементы — гидролизаты с минимальным ПР гидроксидов (Mn, Fe, Al). В результате таких процессов даже на участках загрязнения данными элементами подземные воды могут сохранять свой первоначальный состав.

Восстановительный барьер характеризуется преобразованием более растворимых окисленных форм элементов с переменной валентностью в менее растворимые — восстановленные. Например, Cr в околонефтяных кислородсодержащих водах находится в виде анионов HCrO_4^- и CrO_2^{2-} (Cr^{6+}). При снижении E_h происходит образование мало-растворимых соединений $\text{Cr}(\text{OH})_3$ и Cr_2O_3 (Cr^{3+}).

Щелочной гидролитический барьер возникает при увеличении pH среды. При этом многие элементы, мигрирующие в виде комплексов (Be^{2+} , Hg^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{3+} , Cu^{2+}), переходят полностью или частично в твердую фазу в виде гидроксидов ($\text{BeF}^+ + 2\text{OH}^- = \text{Be}(\text{OH})_2 + \text{F}^-$).

Действие *щелочного карбонатного барьера* основано на образовании трудно-растворимых карбонатов катионогенных элементов и элементов — комплексообразователей (Fe, Mn, Co, Zn, Pb и др.).

Сульфидный барьер основан на образовании трудно-растворимых сульфидов многих элементов — комплексообразователей и анионогенных элементов (Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Mo, As, Sb). Условия действия этого барьера создаются в зонах сульфат-редукции, а также при подтоке сульфидных вод.

Сорбционный гидроксидный барьер основан на том, что свежесоосажденные гидроксиды поливалентных элементов являются эффективными сорбентами. В первую очередь к ним относятся гидроксиды Fe, Mn, Al. В кислой среде данные гидроксиды наиболее интенсивно соосаждают W, As, Se, Mo, Cr, Sb и др. В щелочной среде

соосаждаются Ba, Sr, Zn, Cu, Pb и др.

Сорбционный глинистый барьер обусловлен наличием отрицательного заряда на поверхности глинистых минералов. В результате катионного обмена здесь могут осаждаться Li, Be, Zn, Cu, Cd, Pb, Hg, Co, Ni, Tl и т.д.

Как правило, в природных условиях всегда имеет место не один, а несколько геохимических барьеров. С позиции самоочищения подземных вод наиболее эффективными являются окислительные барьеры для элементов с переменной валентностью и сорбционные для большинства элементов, содержащихся в воде в микроколичествах. Для органических веществ характерны также процессы саморазложения. В этом случае вещество продолжает мигрировать, но уже в виде продуктов химических и биохимических реакций.

Важной характеристикой процессов самоочищения является скорость их протекания. Скорость химических реакций уменьшается при понижении температуры. Для приближенной оценки влияния температуры на скорость химической реакции можно пользоваться правилом Вант-Гоффа, из которого следует, что при понижении температуры на 100С скорость реакции уменьшается в 2–4 раза. Для биохимических реакций характерна зависимость их скорости как от температуры, так и от содержания кислорода. Для каждого вида микроорганизмов характерен свой температурный диапазон жизнедеятельности. При несоответствии температурных условий в подземных водах этому диапазону жизнедеятельность микроорганизмов замедляется в десятки и сотни раз.

II. ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ЭКОСИСТЕМУ ЧЕЛОВЕКА

В связи с глобальным загрязнением поверхностных вод централизованное водоснабжение все в большей степени ориентируется на подземные воды. Однако в условиях растущей техногенной нагрузки на окружающую среду и подземные воды подвергаются загрязнению. Техногенные компоненты обнаруживаются уже не только в верхних, слабо защищенных, водоносных горизонтах, но и в глубоких артезианских резервуарах. Загрязнение подземных вод влечет за собой целый ряд экологических и социальных последствий. Требуется серьезного внимания распространение загрязняющих компонентов из подземных вод по пищевым цепям. В этом случае токсические элементы попадают в организм человека не только с питьевой водой, но и через растительную и животную пищу. Даже если население не пьет загрязненную воду, а только использует ее для приготовления пищи, водопоя скота и полива растений, это может отразиться на здоровье не только нынешнего, но и последующих поколений. Своевременный, оперативный и качественный контроль за химическим составом воды, используемой для хозяйственно-бытовых целей, является одним из условий улучшения состояния здоровья населения. Проблема качества подземных вод в настоящее время превратилась в одну из самых актуальных проблем человечества.

II.1. Значение химического состава воды при ее использовании

Пресные подземные воды используются как для питьевого водоснабжения, так и в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте — практически при всех видах человеческой деятельности. В зависимости от целей использования воды требования к ее химическому составу могут быть различны. К воде, применяемой в различных отраслях промышленности, предъявляются требования в соответствии со спецификой данного вида производства. Например, в сахарном производстве необходимо, чтобы вода имела минимальную минерализацию, так как присутствие любых солей затрудняет варку сахара. В пивоваренном производстве требуется отсутствие в воде CaSO₄, препятствующего брожению солода. В воде, применяемой для винокуренного производства, нежелательно присутствие хлористого кальция и магния, которые задерживают развитие дрожжей. В текстильной и бумажной промышленности не допускается присутствие в воде железа, марганца и кремниевой кислоты. Производство искусственного волокна требует малой окисляемости воды (менее 2 мгО/л) и минимальной жесткости (до 0,64 мг-экв/л). Такие же требования по

жесткости предъявляются к воде и в энергетической промышленности. К воде, используемой для хозяйственно-питьевого водоснабжения, предъявляемые требования можно свести к двум основным условиям: безвредности ее для организма и удовлетворительному качеству по вкусу, запаху, прозрачности и другим внешним свойствам.

Понятие "качество" для подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения. В настоящее время качество питьевой воды, как правило, оценивается путем сравнения ее свойств и величин содержания в воде различных компонентов с их утвержденными значениями и ПДК. Если таких превышений не обнаружено, вода считается годной к употреблению для питьевых целей. Однако еще в 1964 г. проф. П.Е.Калмыков писал: "Вода, принимаемая внутрь в натуральном виде или в виде напитков, а также в составе пищи, с полным основанием может рассматриваться как питательное вещество в точном смысле этого понятия." [16, с.83] В связи с этим представляется, что, говоря об "экологическом качестве" питьевой воды, необходимо от однозначных оценок типа "пригодна — не пригодна" переходить к определению ее природных свойств, влияющих на здоровье человека. Наибольший интерес при этом представляют концентрации в воде элементов, активно участвующих в физиологических процессах.

Принципы и методы определения значений предельно допустимых концентраций. Нормы предельно допустимых концентраций устанавливаются по органолептическим и санитарно-токсикологическим показателям. Первая группа показателей устанавливается с учетом физических свойств воды (вкус, запах, прозрачность и т.д.), вторая — с учетом токсичности и возможности накопления в организме человека нормируемых элементов и соединений. В основе нормирования каждого вещества должно лежать: изучение его токсического воздействия; изучение его влияния на органолептические свойства воды; изучение его влияния на процессы естественного самоочищения водоемов от загрязнений органической природы.

● II.2. Основные нормативные документы России и Всемирной организации здравоохранения, регламентирующие состав питьевых вод

Основными регламентирующими документами для питьевой воды в России являются ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством" и ГОСТ 13273-88 "Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые". ГОСТ 2874-82 распространяется на воду при централизованном использовании местных источников с разводящей сетью труб. ГОСТ 13273-88 распространяется на минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые воды, которые имеют минерализацию не менее 1 г/л или содержат биологически активные микроэлементы в количестве не ниже бальнеологических норм. Предельно допустимые концентрации большинства элементов и соединений приводятся в ряде нормативных документов, основным из которых является "Санитарные нормы и предельно допустимые содержания вредных веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (СНиП)", утвержденные Министерством здравоохранения СССР в 1988 г.

Международные нормы качества питьевой воды разрабатываются Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) [48]. ВОЗ приняты рекомендуемые величины содержания компонентов, которые обеспечивают качество воды, эстетически приемлемое и не представляющее значительной опасности для здоровья потребителя. Данные величины служат основой при разработке национальных стандартов, которые при правильном применении должны обеспечивать безопасность питьевого водоснабжения. Во всех странах разрабатываются стандарты качества воды, наиболее близкие к рекомендуемым величинам. Принятые в России нормы качества питьевой воды очень близки к международным. В табл. 2 приведены показатели качества воды по ГОСТу 2874-82, Руководству по контролю качества питьевой воды ВОЗ (1994 г.) и СНиП. Представлены только некоторые показатели качества воды, упоминаемые в ГОСТе 2874-82, СНиПе или руководстве по контролю качества

питьевой воды ВОЗ (1994 г.). Всего в России нормативными документами установлены ПДК для более чем 1500 различных элементов и соединений.

Таблица 2

Содержание компонентов и показатели свойств	ГОСТ 2874-82	СНиП, 1988	Руководство ВОЗ, 1994
Микробиологические показатели			
Число микроорганизмов в 1 см ³ воды	100	—	—
Количество кишечных палочек в 1000 мл	3	—	—
Количество кишечных палочек в 100 мл	—	—	0
Органолептические показатели			
рН	6,0–9,0	—	6,5 - 8,5
Жесткость общая, мг-экв/л	7,0	—	—
Цветность, град.	20	—	15
Сухой остаток, мг/л	1000	—	—
Общая минерализация, мг/л	—	—	1000
Сульфаты, мг/л	500	—	250
Хлориды, мг/л	350	—	250
Натрий, мг/л	—	—	200
Полифосфаты остаточные, мг/л	3,5	—	—
Железо, мг/л	0,3	0,3	0,3
Медь, мг/л	1,0	1,0	1,0
Цинк, мг/л	5,0	5,0	3,0
Марганец, мг/л	0,1	0,1	0,1
Токсикологические показатели			
Алюминий, мг/л	0,5	0,5	0,2
Молибден, мг/л	0,25	0,25	0,07
Мышьяк, мг/л	0,05	0,05	0,01
Нитраты, мг/л	45	45	50
Полиакриламид, мг/л	2,0	—	—
Свинец, мг/л	0,03	0,03	0,01
Селен, мг/л	0,001	0,01	0,01
Стронций, мг/л	7,0	7,0	—
Фтор, мг/л	0,7–1,5	1,5	1,5
Хром (VI), мг/л	—	0,05	0,05
Хром (III), мг/л	—	0,5	—
Кадмий, мг/л	—	0,001	0,003
Ртуть, мг/л	—	0,0005	0,003
Органические компоненты			
Альдрин и дильдрин, мкг/л	—	2,0	0,03
Бензол, мкг/л	—	500	10
Бенз(а)пирен, мкг/л	—	0,005	0,7
Четыреххлористый углерод, мкг/л	—	3,0	2,0
Хлордан, мкг/л	—	—	0,2
Хлорбензолы, мкг/л	—	20	20
Хлороформ, мкг/л	—	60	200
Хлорфенолы, мкг/л	—	1,0	0,1

ДДТ, мкг/л	—	100	2,0
1,2-дихлорэтан, мкг/л	—	20	30
1,1-дихлорэтилен, мкг/л	—	0,6	0,3
Гептахлор, мкг/л	—	50	0,03
Гексахлорбензол, мкг/л	—	50	0,1
Гамма-ГХЦГ, мкг/л	—	4,0	3,0
Метоксихлор, мкг/л	—	100	20
Пентахлорфенол, мкг/л	—	10	9,0
Тетрахлорэтилен, мкг/л	—	—	10
Трихлорэтилен, мкг/л	—	60	70
2,4-6-трихлорфенол, мкг/л	—	4,0	200

Данные по предельно допустимым концентрациям различных компонентов в воде приводятся в различных справочных изданиях. Сведения о физико-химических свойствах, получении и применении, а также ПДК для элементов 1-VIII групп, углеводородов и их галогенопроизводных и радиоактивных элементов приведены в четырехтомнике "Вредные химические вещества" [4]. Химическая классификация и некоторые физические и химико-аналитические свойства около 1000 нормируемых в водах органических соединений представлены в справочнике "Основные свойства нормируемых в водах органических соединений" [39]. Там же даны структурные формулы этих соединений, их ПДК, лимитирующие признаки вредности (необходимы при выборе наиболее опасных веществ для контроля и учитываются при одновременном содержании вредных веществ), молекулярные массы, агрегатное состояние, некоторые физические константы, растворимость, устойчивость, область применения.

В настоящее время является актуальным совершенствование системы контроля качества питьевой воды (приоритетность методов анализа, периодичность исследований, методика отбора проб воды и др.) [3]. Самостоятельной задачей является уточнение величин гигиенических стандартов по ряду показателей, таких как цветность, содержание хлоридов, сульфатов, алюминия, свинца, селена, по которым имеются расхождения между ГОСТом и "Рекомендациями" ВОЗ. Также необходима разработка отдельного Государственного стандарта на качество питьевой опресненной воды, так как опреснение соленых и солоноватых вод является очень важной гигиенической проблемой.

● 11.3 Экзогенные гипер- и гипомикроэлементозы

Медики выделяют целую группу заболеваний, связанных с повышенным или пониженным содержанием различных микроэлементов в среде обитания организмов, в первую очередь в воде и геологической среде в целом. Это так называемые экзогенные первичные гипер- и гипомикроэлементозы [1]. Накопление химических элементов во внутренних органах человека приводит к развитию различных заболеваний. Из элементов больше всего в организме человека накапливаются кадмий, хром — в почках, медь — в желудочно-кишечном тракте, ртуть — в центральной нервной системе, цинк — в желудке, двигательном аппарате, мышьяк — в почках, печени, легких, сердечно-сосудистой системе, селен — в кишечнике, печени, почках, бериллий — в органах кроветворения, нервной системе. Избыток солей кальция в воде приводит к нарушению обменных процессов в организме, атеросклерозу, мочекаменной болезни. Избыток фтора в питьевой воде приводит к такому заболеванию, как эндемический флюороз, при котором поражаются печень, почки и центральная нервная система. А такая распространенная болезнь, как кариес, является следствием концентрации фтора в воде ниже оптимальной. Механизм действия фтора на организм обусловлен образованием его комплексных соединений с кальцием, магнием и другими элементами — активаторами ферментных систем. Угнетающее действие фтора на ферменты приводит к тому, что он может быть "конкурентом номер один" в синтезе гормонов щитовидной железы и,

следовательно, влиять на ее функцию. В результате исследований о влиянии фтора при комплексном поступлении в организм получено, что безопасное комплексное суточное поступление фтора в организм человека составляет около 4 мг/сут [35]. Известно также, что хлоридно-сульфатные воды приводят к нарушениям в системе пищеварения, различным гинекологическим заболеваниям.

Под воздействием высоких концентраций нитратов развивается такая болезнь, как водно-нитратная метгемоглобинемия. Нитраты, попадая в организм человека, под влиянием микрофлоры кишечника образуют нитриты, которые, в свою очередь, приводят к образованию в крови метгемоглобина, в результате чего снижается снабжение тканей кислородом. Нитриты и нитраты в организме человека могут трансформироваться в канцерогенные нитрозоамины. Содержание нитратов в питьевой воде не должно превышать 45 мг/л [5].

В последнее время большое внимание уделяется изучению влияния веществ, появляющихся в воде в результате ее хлорирования. К таким соединениям относятся тригалометаны — производные метана, в молекулах которого часть атомов водорода замещена атомами галогенов: Cl, Br, I. Тригалометаны обладают большой биологической активностью и оказывают канцерогенное действие на организм человека. Их количество достигает 100 мкг/л. Основным из них является хлороформ, наряду с которым обнаруживается еще до 40 различных веществ. Количество и разнообразие тригалометанов зависят от химической природы первичных органических соединений, находящихся в хлорируемой воде, количества использованного при хлорировании воды активного хлора, времени его контакта с водой, pH воды, ее температуры и других факторов. Эти соединения являются причиной злокачественных, обменных, аллергических, ревматических и других неинфекционных заболеваний.

Биологически активные элементы. При оценке качества воды в первую очередь необходимо обращать внимание на концентрации биологически активных (эссенциальных) элементов, которые участвуют во всех физиологических процессах. В.В.Ковальский к таким, биологически активным, элементам отнес K, Na, Ca, Mg, Li, Rb, Fe, Cu, Zn, Ga, Co, Ni, Mn, Mo, Cd, Cr, Ti, V, Sr, Ba, Cl, I, F, Se, As [20]. А.П.Авицын с соавт. в группу наиболее жизненно необходимых микроэлементов включают Li, Fe, Cu, Zn, Co, Ni, Mn, Mo, Cr, V, I, F, Se, As, Si, а кандидатами Cd, Pb, Sn и Rb [1]. Ю.И. Москалев [35] отмечает, что в организме человека содержатся все химические элементы Периодической системы, биологическая роль многих из которых еще не изучена, например, Li, Cs, Sc, Al, Ba, B, Rb, Be, Ag, Ga, Ge, Hg, Pt, Bi, Ti, Sb, U, Te, Ra и многих других. Однако отсутствие такой информации еще не означает их биологическую инертность. Замещая биологически значимые элементы в различных важных в физиологическом отношении соединениях (белки, в том числе ферменты, нуклеиновые кислоты, гормоны, витамины) и структурных образованиях (оболочки клеток, матрица костной ткани и др.), они могут существенно влиять на протекание биохимических и физиологических процессов и лежать в основе многих болезней, вызывая нарушения первоначально на молекулярном и субмолекулярном уровнях.

Отрицательное влияние малых концентраций эссенциальных элементов в питьевой воде. Повышенное содержание в пищевом рационе любого элемента вызывает различные отрицательные последствия. Однако низкие содержания целого ряда элементов также представляют опасность для организма человека [53]. Среди наиболее распространенных заболеваний, связанных с низким содержанием микроэлементов в питьевой воде, можно назвать эндемический зоб (низкое содержание йода), кариес (низкое содержание фтора), железодефицитные анемии (низкое содержание железа и меди). В качестве примера можно привести результаты работы советско-финской экспедиции, которая обнаружила, что из-за низкого содержания в воде и почве селена населения ряда районов Читинской области угрожает селенодефицитная кардиопатия - болезнь Кешана. Среди макрокомпонентного состава воды особенно негативное влияние на организм человека оказывает низкое содержание в питьевой воде кальция и магния. Так,

например, результаты санитарно-эпидемиологических обследований населения, проводимых по программам ВОЗ, показывают, что низкое содержание в питьевой воде Ca и Mg приводит к увеличению числа сердечно-сосудистых заболеваний [36]. В результате исследований в Англии было выбрано шесть городов с самой жесткой и шесть с самой мягкой питьевой водой. Смертность от сердечно-сосудистых заболеваний в городах с жесткой водой оказалась ниже нормы, в то время как в городах с мягкой водой — выше. Более того, у населения, живущего в городах с жесткой водой, параметры деятельности сердечно-сосудистой системы лучше: ниже общее кровяное давление, ниже частота сокращений сердца в покое, а также содержания холестерина в крови. Курение, социально-экономические и другие факторы не влияли на эти корреляции. В Финляндии более высокая смертность от сердечно-сосудистых заболеваний, повышенное кровяное давление и содержание холестерина в крови в восточной части страны по сравнению с западной, по всей видимости, также связаны с использованием мягкой воды, так как другие параметры (диета, физическая нагрузка и т.д.) населения этих групп практически не различаются.

В последнее время эти данные получили клиническое подтверждение. Группой исследователей под руководством С.К.Чуриной [23] было установлено, что 60–80% суточной потребности Ca и Mg у человека удовлетворяется за счет пищи. Но значение Ca и Mg в суточном рационе можно оценить, если учесть, что требования ВОЗ к содержанию этих катионов в воде для Ca составляют 80–100 мг/л (около 120–150 мг в сутки), а для Mg — до 150 мг/л (около 200 мг в сутки) при общей суточной потребности, например, Ca, равной 500 мг. Показано, что Ca и Mg из воды всасываются в кишечнике полностью, а из продуктов, в которых он связан с белком, — только на 1/3.

Уровень Ca в клетке является универсальным фактором регуляции всех клеточных функций независимо от типа клеток. Недостаток Ca в воде сказывается на увеличении всасывания и токсического действия тяжелых металлов (Cd, Hg, Pb, Al и др.). Тяжелые металлы конкурируют с Ca в клетке, так как используют его метаболические пути для проникновения в организм и замещают ионы Ca в важнейших регуляторных белках, нарушая таким образом их нормальную работу.

К настоящему времени можно с уверенностью утверждать, что мягкая питьевая вода, характерная для северных регионов планеты, с низким содержанием жизненно важных для организма двухвалентных катионов (Ca и Mg) является существенным экологическим фактором риска сердечно-сосудистой патологии и других широко распространенных Ca-Mg-зависимых региональных заболеваний. Таким образом, при разработке требований к качеству воды, используемой для питьевых целей, необходимо нормировать и нижний предел содержания целого ряда компонентов.

При более детальном анализе влияния содержащихся в воде биологически активных элементов на здоровье человека необходимо также учитывать форму их нахождения в растворе. Так, фтор в ионном виде, будучи токсичным для человека при концентрациях более 1,5 мг/л, перестает быть токсичным, находясь в растворе в виде комплексного соединения BF_4^- . Экспериментально установлено, что введение в организм человека значительного количества фтора в виде указанного комплексного соединения исключает опасность заболевания человека флюорозом, так как, будучи устойчивым в кислых средах, это соединение не усваивается организмом. Поэтому, говоря об оптимальных концентрациях фтора, следует учитывать возможность его нахождения в воде в виде комплексных соединений, поскольку и положительное воздействие на человека в определенных концентрациях оказывает именно ион F^- .

Как известно, аналитический (определяемый в лаборатории) химический состав природных вод не соответствует реальному составу. Большинство растворенных в воде компонентов, участвуя в реакциях комплексообразования, гидролиза и кислотно-основной диссоциации, объединены в разные устойчивые ионные

ассоциации — комплексные ионы, ионные пары и т.д. Современная гидрогеохимия называет их миграционными формами. Химический анализ дает лишь валовую (или брутто-) концентрацию компонента, например, меди, тогда как реально медь может почти целиком находиться в виде карбонатных, хлоридных, сульфатных, фульватных или гидроксокомплексов, что зависит от общего состава данной воды (биологически активными же и, соответственно, токсичными в больших концентрациях, как известно, являются незакомплексованные ионы Cu^{2+}).

● 11.4. Классификация подземных питьевых вод по качеству

В настоящее время по целому ряду элементов, доля поступления которых в человеческий организм с водой особенно велика (Ca, Mg, F), имеются публикации, в которых даются конкретные цифры по рекомендуемым концентрациям. Как правило, такие значения получены в результате статистического анализа данных медико-биологических исследований состояния здоровья населения по регионам с питьевой водой различного химического состава или материалов клинических экспериментов с животными [17, 26, 27, 45, 52].

Однако содержание в питьевой воде других элементов также весьма существенно влияет на общий минеральный баланс человека. В табл. 3 приведены данные по среднесуточному потреблению человеком элементов с пищей и водой [51], существующие ПДК в питьевой воде для данных элементов [5] и процентная доля поступления данного элемента с водой при условии его содержания на уровне ПДК. Как видно из таблицы, роль воды в среднесуточном минеральном балансе для разных элементов может существенно отличаться. Так, если концентрация калия 165 мг/л в природных пресных водах не встречается, и восполнить 10%-ю суточную потребность организма в этом элементе с водой невозможно, то часто встречающиеся в питьевой воде содержания на уровне ПДК таких элементов, как Cu, Co, Mo, Ni и F, могут восполнить большую часть, а иногда и всю потребность организма человека в них.

Таблица 3

Элемент	Суммарное суточное поступление, мг	ПДК для воды, мг/л	Поступление с водой при ПДК, %
Ca	1100	—	—
Mg	300	—	—
K	3300	—	—
Fe	14	0,3	4,3
Cu	3,5	1,0	57,0
Mn	3,7	0,1	5,4
Co	0,3	0,1	66,0
Zn	13	1,0	15,0
Mo	0,3	0,25	166,0
Se	0,15	0,01	13,0
Ni	0,4	0,1	50,0
Cd	0,15	0,001	1,3
Cr	0,15	0,5(0,05)	666(66,6)
Ti	0,85	0,1	23,5
V	2	0,1	10,0
Sr	1,9	7,0	736,8
Ba	0,75	0,1	26,7
Sn	4	0,05	2,5

As	1,0	0,05	10,0
Li	2	0,03	3,0
I	0,2	—	—
F	1,8	1,5	166,0

В основу одного из возможных подходов к определению рекомендуемых оптимальных концентраций большинства биологически активных элементов можно положить результаты статистических исследований о среднесуточной потребности в них человека и соотношении их поступления в организм в составе пищи, воды и воздуха. В работе [13] показывается, что в среднем для большинства элементов соотношение их поступления в организм в составе пищи, воды и воздуха составляет 100:10:1 соответственно. Такой же принцип был положен группой экспертов Всемирной организации здравоохранения при определении рекомендуемых значений ПДК для элементов, механизм влияния которых на организм человека до конца не ясен [48]. ПДК вычислялось исходя из предпосылки, что максимальное суточное потребление элемента с водой не должно превышать 10 % от рекомендуемого максимального потребления с пищей.

Таким образом, за оптимальную рекомендуемую концентрацию элемента в воде можно принять содержание его в одном литре в количестве 5% от среднесуточной потребности человека [4].

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод о необходимости классификации подземных вод по качеству с учетом содержания в них биологически активных компонентов. Так, наряду с просто незагрязненными водами, т.е. нетоксичными, имеющими положительный результат при различных видах биотестирования, следует выделять воды "высшего качества", содержание биологически активных компонентов в которых близко к оптимальному. В этой связи интересно мнение Ю.А.Рахманина с коллегами [46], которые предложили ввести для питьевых вод понятие "корректировочного качества". К этой категории предложено отнести воду с повышенным содержанием тех или иных биологически активных компонентов. Использовать ее рекомендуется для лечебных целей или в районах, где содержание данных элементов понижено в почве и поверхностных водах.

Если качество воды не соответствует нормам ГОСТа, их классификация может быть проведена по принципу сложности технологии требуемой очистки для удаления компонентов, содержание которых превышает ПДК. В первом приближении здесь можно выделить три категории качества: среднее, удовлетворительное и плохое. К водам среднего качества относятся те, которым требуется простая очистка аэрированием (от сероводорода, радона или легко окисляемого железа). К водам удовлетворительного качества относятся те, которые требуют простой реагентной очистки для обеззараживания (например, с повышенным содержанием коли-титра). К плохим по качеству водам относятся те, которым требуется комплексная, сложная реагентная очистка.

11.5. Комплексные методы оценки качества подземных вод

Действующий в настоящее время стандарт (ГОСТ 2874-82 "Вода питьевая") ограничивает по микробиологическим показателям содержание в воде микроорганизмов и число кишечных палочек, по токсикологическим показателям устанавливает предельно допустимые концентрации для 10 компонентов и по органолептическим показателям еще для 10. Однако ссылка на то, что концентрации химических веществ, не указанных в ГОСТе, не должны превышать ПДК, утвержденных Министерством здравоохранения, а также норм радиационной безопасности, делает весьма затруднительным его практическое применение. Нормативными документами Минздрава установлены ПДК для нескольких сотен элементов и соединений, их число постоянно растет, и с экономической точки зрения полный химический анализ воды службами Госсанэпиднадзора проблематичен.

Из-за большого числа различных соединений естественного и техногенного происхождения при оценке качества воды, помимо обычного химического анализа наиболее распространенных загрязнителей, необходимо проводить суммарную токсикологическую оценку воды, основанную на сочетании различных методов биотестирования. Как таковое биотестирование представляет собой методический прием, основанный на оценке действия фактора среды, в том числе токсического, на организм, его отдельную функцию или систему организмов [30]. В настоящее время существует большое количество методов, основанных на реакции на качество воды различных ферментов, клеточных культур, микроорганизмов и простейших организмов. При определении токсичности воды анализируются различные виды реакции тестобъектов при соприкосновении с анализируемой пробой. Например: 1) выживаемость и плодовитость рачка дафния магна; 2) двигательная активность инфузорий, уход организмов из зоны воздействия химических веществ (хемотаксис); 3) количественная регистрация изменений интенсивности и степени реализации ряда поведенческих реакций брюхоногих моллюсков; 4) реакция биолюминесценции светящихся бактерий; 5) биоэлектрическая реакция водорослей (измерение электропроводности мембраны клеток); 6) ростовая реакция бактерий.

Однако большая часть разработанных биотестов не обладает высокой надежностью и чувствительностью и не может использоваться на водах с широким диапазоном токсичности. Существенным препятствием для широкого применения биологических методов определения общей токсичности вод разного целевого назначения является также и сложность интерпретации полученных данных и вследствие этого использование в каждом биотесте для оценки качества тестируемой воды новых, не сравнимых друг с другом условных единиц. Неодинаковая чувствительность гидробионтов разных видов не позволяет решить проблему переноса результатов, полученных на каком-либо одном тест-организме, на другие виды гидробионтов. С целью решения этой проблемы используют методы биотестирования с несколькими тест-организмами [14].

По целям биологические методы можно разделить на две группы: универсальные методы оценки общей токсичности вод и методы индикации в воде определенных загрязнителей. Эти цели должны являться главным фактором, определяющим методологию разработки биологического метода, выбор оптимальных тест-организмов и тест-функций. Другим важным вопросом является выбор оптимальных сроков тестирования. При выборе оптимального тест-организма необходимо также учитывать его чувствительность и резистентность токсического действия внешней Среды. Чувствительность организма определяется такими малыми концентрациями токсикантов, при воздействии которых могут быть зарегистрированы какие-либо ответные реакции организма. Резистентность определяется максимальными концентрациями токсикантов, при воздействии которых организм еще может выжить. Из этого следует, что чувствительность и резистентность тест-организма определяют диапазон токсичности, в пределах которого будет возможна ее оценка. Анализ основных закономерных процессов адаптации живых организмов, физиологических, поведенческих и экологических особенностей гидробионтов позволяет сформулировать ряд положений о тест-организмах и тест-операциях.

Оптимальные тест-организмы должны удовлетворять требованиям:

- Используемые для тестирования особи должны быть генетически однородными, что обеспечит сходство их чувствительности и резистентности, единообразие ответных реакций на воздействие токсикантов.
- Функциональная активность тест-организма не должна иметь сезонной периодичности.
- Все виды, используемые как тест-организмы, должны иметь высокий уровень метаболизма, что обеспечит быстроту возникновения у них ответных реакций на

воздействие токсикантов.

● Тест-организмы должны быть стрессоустойчивы к связанным с процедурой тестирования операциям.

Таким образом, наиболее перспективными тест-организмами являются беспозвоночные гидробионты, например, ракообразные и брюхоногие моллюски [14]. Большинство методов биотестирования разработано для поверхностных вод с большим содержанием растворенного кислорода. Актуальной задачей представляется выделение двух — трех наиболее простых и эффективных методов для определения в подземных водах токсикантов и введение этих методов в ГОСТ.

● 11.6. Влияние загрязнения подземных вод на окружающую среду

При оценке влияния химического состава подземных вод на окружающую среду требуют серьезного внимания процессы распространения загрязняющих компонентов из подземных вод по пищевым цепям. В этом случае токсические элементы попадают в организм человека не только с питьевой водой, но и через растительную и животную пищу. Даже если население не пьет загрязненную воду, а только использует ее для приготовления пищи, водопоя скота и полива растений, это может отразиться на здоровье не только нынешнего, но и последующих поколений. Своевременный, оперативный и качественный контроль за химическим составом воды, используемой для хозяйственно-бытовых целей, является одним из условий улучшения состояния окружающей среды.

Анализ распределения важнейших нормируемых химических элементов в маломинерализованных подземных водах. При оценке качества подземных вод нормируемые элементы можно разделить на две группы. В первую группу входят элементы, фоновые концентрации которых в пресных подземных водах часто близки к ПДК. К ним относятся F, Fe, Be, Se, Sr, Mn и ряд других. Вторую группу составляют элементы, естественные концентрации которых, как правило, значительно ниже ПДК. Такими элементами являются Cu, Mo, Pb, Zn и некоторые другие. Однако следует учитывать, что такое распределение весьма условно, и в каждом конкретном случае для прогноза возможных концентраций микроэлементов в подземных водах необходимо прежде всего изучить гидрогеологические условия района и минералогический состав водовмещающих пород. Так, например, Cu, Zn и Pb могут иметь повышенные концентрации в районах полиметаллического оруденения. В связи с тем, что подземные воды с регионально повышенными концентрациями нормируемых элементов достаточно широко и закономерно распределены в земной коре, при гидрогеологических исследованиях выделяют гидрогеохимические провинции с фиксированным набором элементов, имеющих концентрации на уровне или выше ПДК [22].

Понятие о загрязнении подземных вод. Под антропогенным загрязнением подземных вод понимают ухудшение качества воды (химических, физических, биологических свойств), вызванное хозяйственной деятельностью человека. Понятие "загрязнение" относится прежде всего к подземным водам питьевого назначения. Загрязнение подземных вод может выразиться в повышении содержания природных компонентов, а также в появлении специфических веществ искусственного происхождения — неорганических (цианиды, роданиды), органических (нефтепродукты, пестициды, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ) и др.). Обычно выделяют две стадии загрязнения: начальную стадию, когда содержания компонентов выше фонового, но ниже ПДК, и собственно загрязнение, когда концентрации отдельных компонентов превышают ПДК. По видам загрязнителей выделяют химическое, биологическое, радиоактивное и тепловое загрязнения, по масштабу — локальное и региональное.

Поступать загрязнение в водоносный горизонт может практически со всех сторон: сверху, сбоку, снизу и непосредственно в пласт в результате закачки. Влияние загрязняющих веществ на равновесие в системе вода - порода - газ - живое вещество. С точки зрения влияния загрязняющих веществ на гидрохимические

свойства подземных вод выделяют инертные загрязняющие вещества и активные загрязняющие вещества. Инертные не изменяют Eh - pH состояния подземных вод, слабо участвуют в процессах комплексообразования и т.д. (NO_3^- , Cl^- , некоторые органические вещества.). Активные загрязняющие вещества изменяют гидрогеохимическую обстановку и, как следствие, нарушают равновесие в системе вода - порода - газ - живое вещество (H^+ , Fe^{2+} , H_2S и т.д.).

Общая степень закомплексованности химических элементов, особенно элементов — комплексообразователей, в загрязненных подземных водах выше, поскольку эти воды содержат более высокие концентрации анионов, с которыми возможно комплексообразование этих элементов. Ф.И.Тютюнова [50] установила следующие ряды по степени способности к комплексообразованию в подземных водах: для катионов - $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Fe}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$; для анионов — органические вещества $> \text{OH}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{F}^- > \text{HCO}_3^- > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$.

Взаимосвязь гидродинамического и гидрохимического режимов подземных вод. Гидродинамический и гидрохимический режимы подземных вод тесно связаны. При понижении уровней нарушается гидрогеохимическое равновесие, усиливаются окислительные процессы, изменяются pH, Eh и, как следствие, состав подземных вод. Например, если водовмещающие породы содержат сульфидные минералы, то снижение уровня подземных вод приведет к окислению сульфидов, снижению pH подземных вод и, как следствие, к увеличению содержания в воде многих металлов ($\text{MS} + 2\text{O}_2 = \text{M}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$). Также при понижении уровня возможен подток сбоку или переток снизу некондиционных подземных вод. При повышении уровня изменяется водно-солевой баланс грунтовых вод, увеличивается испарение с капиллярной каймы, вода начинает контактировать с новыми водовмещающими породами, и, как следствие, - изменение химического состава.

Характеристика гидрогеохимических свойств наиболее распространенных загрязнителей. Неорганические вещества. Среди неорганических загрязнителей наиболее распространены компоненты общего химического состава воды (Cl , SO_4 , NO_3), газы (H_2S), микроэлементы, в основном это тяжелые металлы, а также родониды ($\text{Kt}(\text{NCS})_n$) и цианиды ($\text{Kt}(\text{CN})_n$), применяемые при обогащении металлических руд. Теоретически неорганическим загрязнителем может быть большинство элементов.

Органические вещества. В настоящее время существуют ПДК для питьевых вод более чем для тысячи органических соединений. Наиболее часто в подземных водах встречаются повышенные количества нефтепродуктов, синтетических поверхностно-активных веществ, фенолов, хлорорганических (ХОП) и фосфорорганических (ФОП) пестицидов. В последнее время все большее внимание обращается на высокотоксичные полиароматические углеводороды и диоксины.

Радиоактивные вещества. Наиболее распространенными радиоактивными загрязнителями являются изотопы ^{90}Sr (время олураспада 28,4 года), ^{137}Cs (30 лет), при ядерных испытаниях и авариях также может происходить загрязнение изотопами ^{131}I (8,1 сут.), ^{239}Pu (24400 лет), ^{238}U (4,5·10⁹ лет), ^{60}Co (5,25 лет).

Биологическое загрязнение подземных вод. Данный вид загрязнения вызывается различными микроорганизмами - водорослями, бактериями, вирусами. Наиболее опасно загрязнение болезнетворными организмами, поступающими в подземные воды в основном с фекальными и хозяйственно-бытовыми водами. Время выживания болезнетворных микробов в подземных водах может достигать 400 сут. Биологическое загрязнение подземных вод может интенсифицироваться тепловым загрязнением.

Последствия загрязнения подземных вод. Загрязнение подземных вод не является локальным процессом, оно тесно связано с загрязнением окружающей природной

среды в целом. Содержащиеся в подземных водах зоны активного водообмена загрязнения в конечном итоге попадают в реки и озера (области разгрузки). Загрязнение пресных подземных вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, не только сказывается на здоровье людей и состоянии окружающей среды, но и приводит к необходимости колоссальных затрат на очистку воды, ремонт и реконструкцию очистных сооружений, дополнительных затрат на здравоохранение. Это происходит на фоне недостаточной изученности и состояния загрязнения, и влияния многих вредных компонентов на здоровье людей и животных, и неразвитости методов исследований многих новых видов загрязнения.

III. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ВИДОВ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ

При изучении техногенного воздействия на геологическую среду необходимо выявить геолого-гидрогеологическую природу протекающих процессов, провести прогнозную оценку степени их влияния на окружающую среду и, как следствие, разработать рекомендации по предотвращению или минимизации с помощью защитных мер их негативного влияния на естественную природу. Интенсивность техногенного воздействия на подземные воды во многом определяется степенью их защищенности.

III.1. Защищенность подземных вод

Возможность загрязнения подземных вод с поверхности земли в значительной степени определяется защищенностью водоносных горизонтов. Под защищенностью водоносного горизонта от загрязнения понимается его перекрытость отложениями, препятствующими проникновению загрязняющих веществ с поверхности земли или из вышележащего водоносного горизонта [9]. Защищенность зависит от многих факторов, которые можно разбить на две группы: природные и техногенные. К основным природным факторам относятся: глубина до уровня подземных вод, наличие в разрезе и мощность слабопроницаемых пород, литология и сорбционные свойства пород, соотношение уровней исследуемого и вышележащего водоносных горизонтов. К техногенным факторам прежде всего следует отнести условия нахождения загрязняющих веществ на поверхности земли и, соответственно, характер их проникновения в подземные воды, химический состав загрязняющих веществ и, как следствие, их миграционную способность, сорбируемость, химическую стойкость, время распада, характер взаимодействия с породами и подземными водами.

Защищенность подземных вод можно охарактеризовать качественно и количественно. В первом случае в основном рассматриваются только природные факторы, во втором — природные и техногенные. Детальная оценка защищенности подземных вод с учетом особенности влагопереноса в зоне аэрации и характера взаимодействия загрязнения с породами и подземными водами требует, как правило, создания гидрогеохимической модели процессов проникновения загрязнения в водоносный горизонт. Качественная оценка может быть проведена в виде определения суммы условных баллов или на основании оценки времени, за которое фильтрующиеся с поверхности воды достигнут водоносного горизонта (особенности влагопереноса в зоне аэрации и процессы взаимодействия загрязнения с породами и подземными водами при этом не учитываются). Балльная оценка защищенности грунтовых вод детально разработана В.М.Гольдбергом [11]. Сумма баллов, зависящая от условий залегания грунтовых вод, мощностей слабопроницаемых отложений и их литологического состава, определяет степень защищенности грунтовых вод. По литологии и фильтрационным свойствам слабопроницаемых отложений выделяют три группы: а - супеси, легкие суглинки (коэффициент фильтрации (k) — 0,1 - 0,01 м/сут), с — тяжелые суглинки и глины ($k < 0,001$ м/сут), b — промежуточная между а и с — смесь пород групп а и с (k 0,01 - 0,001 м/сут). Ниже приведены данные для определения баллов в зависимости от глубины уровня грунтовых вод Н

Н, м

Баллы

<10	1
10 - 20	2
20 - 30	3
30 - 40	4
>40	5

В табл. 4 представлены баллы защищенности водоносного горизонта в зависимости от мощности m и литологии слабопроницаемых отложений.

Таблица 4

m_0 , м	Литол. группы	Баллы	m_0 , м	Литол. группы	Баллы
<2	a	1	12 - 14	a	7
	b	1		b	10
	c	2		c	14
2 - 4	a	2	14 - 16	a	8
	b	3		b	12
	c	4		c	18
4 - 6	a	3	16 - 18	a	9
	b	4		b	13
	c	6		c	18
6 - 8	a	4	18 - 20	a	10
	b	6		b	15
	c	8		c	20
8 - 10	a	5	>20	a	12
	b	7		b	18
	c	10		c	25
10 - 12	a	6			
	b	9			
	c	12			

Для расчета суммы баллов необходимо сложить баллы, полученные за мощность зоны аэрации, и баллы за мощности имеющихся в разрезе слабопроницаемых пород.

Например, если грунтовые воды залегают на глубине 14 м (2 балла) и имеется слой супеси 3 м (2 балла) и слой глин 6 м (6 баллов), то сумма баллов составит 10. По сумме баллов выделяются шесть категорий защищенности грунтовых вод. Категории защищенности грунтовых вод, по В.М.Гольдбергу, приведены ниже.

Категория	Сумма баллов
I	<5
II	5 - 10
III	10 - 15
IV	15 - 20
V	20 - 25
VI	>25

Наименьшей защищенностью характеризуются условия, соответствующие категории I, наибольшей — категории VI.

Степень защищенности подземных вод можно определять непосредственно по

времени фильтрации загрязненных вод от поверхности земли до водоносного горизонта. Приближенная оценка времени достижения уровня грунтовых вод фильтрующимися с поверхности сточными водами для условий однородного разреза зоны аэрации и постоянства уровня в хранилище может быть выполнена по известной формуле Цункера:

$$t = (nH/k)[m/H - \ln(1+m/H)],$$

где H — высота столба сточных вод в хранилище; k и m — соответственно, коэффициент фильтрации и мощность зоны аэрации; n — недостаток насыщения пород зоны аэрации.

При наличии в основании хранилища жидких отходов защитного экрана из слабопроницаемых пород время достижения уровня грунтовых вод фильтрующимися с поверхности сточными водами складывается из времени фильтрации через защитный экран (t_1), определяемого по приведенной выше формуле, и времени фильтрации через собственно зону аэрации (t_2). Время t_2 можно определить по формуле, предложенной Веригиным:

$$t_2 = (n_2H/k_2)\{m_2/H [1-(m_1/H)(k_2/k_1-1)]\ln[1+m_2/(H+m_1)]\},$$

где k_1 и m_1 — коэффициент фильтрации и мощность защитного экрана; n_2 , m_2 , k_2 — активная пористость, мощность и коэффициент фильтрации зоны аэрации; H — высота столба сточных вод в хранилище.

При фильтрации с поверхности земли сточных вод, сбрасываемых с постоянным расходом Q на площадь F , могут быть два случая. Если $q < k$ ($q = Q/F$, k — коэффициент фильтрации зоны аэрации), то попадающие на поверхность земли сточные воды полностью уйдут на фильтрацию, не образовав на поверхности столба воды. В этом случае время достижения стоками уровня грунтовых вод может быть определено по формуле

,

где n и m — активная пористость и мощность зоны аэрации. Если $q > k$, то на поверхности земли образуется столб жидкости мощностью H , и расчеты необходимо проводить по приведенным ранее формулам.

III.2. Влияние на подземные воды горнодобывающей индустрии

Эксплуатация крупных горнодобывающих предприятий часто приводит к необратимым гидрогеологическим явлениям регионального масштаба. При осушении горных выработок откачиваются большие объемы воды, что вызывает формирование вокруг них депрессионных воронок радиусом в десятки километров. Часто добыча одной тонны полезного ископаемого сопровождается откачкой десятков, и даже сотен тонн воды. В результате ухудшается водный баланс крупных территорий. Снижают свою производительность или выходят из строя водозаборы, попавшие в зону депрессионной воронки, нарушаются условия питания поверхностных водоемов и водотоков, развиваются мощные техногенные зоны аэрации, приводящие к нарушению естественной влажности почв и грунтов, просадкам и изменению химического состава подземных вод. В табл. 5 приведены основные техногенные процессы, формирующиеся при осушении горных выработок, и негативные последствия, к которым они приводят [42].

Таблица 5

Процессы	Последствия
Осушение водоносных пород	Истощение естественных ресурсов подземных вод; нарушение взаимосвязи подземных и поверхностных вод; дренирование родников,

	колодцев, водозаборных скважин; нарушение структуры общего водного баланса; ухудшение общих ландшафтных условий
Вторичная консолидация осушенных рыхлых пород	Деформация поверхности и, как следствие, деформация подземных коммуникаций и поверхностных сооружений
Депрессионное уплотнение песчано-глинистых пород при снижении пластового давления	Деформация поверхности и, как следствие, деформация шахтных стволов и околосахтных горных выработок
Подвижки в массиве горных пород в зоне влияния выработки	Значительная деформация поверхности, подземных коммуникаций и поверхностных сооружений; образование зоны техногенной трещиноватости
Прорыв рудничных вод под влиянием остаточных гидростатических напоров	Деформация и затопление горных выработок
Оползневые процессы в открытых выработках, формирующиеся при слабо осушенных песчано-глинистых породах	Деформация уступов и бортов карьера
Окисление рудных минералов и органических веществ в техногенной зоне аэрации	Ухудшение качества рудничных вод, их химическое загрязнение возможно формирование агрессивных кислых вод
Взаимодействие осушительных устройств и водозаборных сооружений предприятия	Снижение общей производительности водозаборов, нередко необходимость строительства новых каптажных сооружений

При осушении горных выработок можно выделить две фазы. В первую фазу понижение уровня происходит в пределах местного базиса эрозии. В эту фазу срабатываются естественные ресурсы водоносных горизонтов. Наибольшее влияние осушение горных выработок оказывает на изменение свойств геологической среды во вторую фазу, когда понижение уровня воды становится ниже абсолютной отметки местного базиса эрозии.

Помимо негативных последствий осушения горных выработок для предприятий горнодобывающей промышленности характерно большинство видов промышленного загрязнения подземных вод, описанных ниже. Более подробно с влиянием на подземные воды горнодобывающей промышленности можно познакомиться в работах [7, 34, 42].

III.3. Влияние промышленности на подземные воды

Промышленное загрязнение подземных вод. Среди промышленных отходов основное значение в загрязнении подземных вод имеют промстоки. Загрязнение происходит в процессе фильтрации сточных вод из накопителей, хвосто- и шламохранилищ или в результате их подземного захоронения [12]. В сточных водах находятся как компоненты общего химического состава вод, так и микрокомпоненты, газы, органические вещества. Конкретный состав сточных вод зависит и от отрасли промышленности, и от технологий, применяемых на данном предприятии. Часто источником промышленного загрязнения подземных вод являются атмосферные осадки, насыщенные газодымовыми выбросами и продуктами испарения с поверхности полей фильтрации и накопителей сточных вод и отходов. Главными веществами, загрязняющими атмосферный воздух, являются взвешенные вещества (пыль), оксид углерода, сернистый ангидрид, оксиды азота, углеводороды, фенолы, различные ядохимикаты и тяжелые металлы. Выбросы больших количеств сернистого ангидрида, оксидов углерода и азота обуславливают образование кислотных дождей с $pH < 4$. Такие осадки могут существенно изменить химический состав подземных вод за счет нарушения равновесия в системе вода - порода. Концентрация в атмосферных осадках промышленных районов As, Se, Sb, Cr, V, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg и ряда других компонентов может в десятки и сотни раз превышать их фоновые значения. Попадая в почву, большинство из них сорбируется в зоне аэрации и вначале не фиксируется в значительных количествах в подземных водах. Однако сорбционная емкость пород не безгранична, и в условиях ее наполнения или изменения Eh - pH условий в зоне аэрации может произойти повсеместное загрязнение грунтовых вод с последующим перетеканием загрязняющих веществ в более глубокие горизонты.

Достаточно крупным источником загрязнения подземных вод в настоящее время является автомобильный транспорт. Влияние других транспортных магистралей в основном сказывается при возникновении аварийных ситуаций на железной дороге и нефте- и газопроводах.

Еще одним источником загрязнения являются необорудованные хранилища твердых отходов. Здесь может иметь место ветровой разнос загрязняющих веществ с дальнейшим их проникновением вместе с атмосферными осадками в грунтовые воды, а также непосредственное выщелачивание на месте, в результате чего под хранилищами твердых отходов часто образуются значительные ореолы некондиционных подземных вод [15].

● III.4. Изменение гидрогеохимических условий на урбанизированных территориях

В городах имеют место все возможные виды антропогенного воздействия на окружающую среду, встречаются все известные типы загрязнения подземных вод. На урбанизированных территориях помимо промышленного значительную роль играет загрязнение подземных вод коммунальными стоками. Кроме химического здесь часто присутствует радиоактивное, бактериальное, газовое и тепловое загрязнения. Специфической особенностью городских территорий является нарушенный гидрогеологический режим в связи с большой плотностью застройки, значительной площадью асфальтовых покрытий, густой сетью водонесущих коммуникаций и подземных инженерных сооружений. Для крупных городов характерно как значительное понижение уровней водоносных горизонтов, используемых для централизованного водоснабжения, так и повышение уровня грунтовых вод за счет утечек из водопроводной сети и уменьшения таких расходных статей водного баланса, как испарение и транспирация. Все это способствует усилению миграции загрязненных грунтовых вод в нижележащие водоносные горизонты. Во многих городах интенсивный отбор подземных вод сопровождается значительными проседаниями дневной поверхности. Например, в Токио площадь мульды проседания составляет 309 км², а максимальная величина проседания превышает 7 м.

На урбанизированных территориях, как правило, присутствуют все факторы изменения химического состава подземных вод, связанные с понижением или повышением их уровня. Особое значение имеет процесс взаимодействия (в результате подъема уровня) подземных вод с техногенными отложениями. Также для городов характерно развитие электрохимических процессов. Этому способствует наличие под землей большого количества металлических конструкций и электрокабелей. Более подробно с эколого-гидрогеологическими проблемами, возникающими на урбанизированных территориях, можно познакомиться по материалам научных конференций и семинаров, посвященных данной проблеме [49].

Отдельным фактором воздействия на подземные воды в районе населенных пунктов является их эксплуатация в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения. В процессе откачки воды из скважин могут возникать те же отрицательные техногенные процессы, что и при осушении горных выработок. Отличие заключается в том, что при эксплуатации подземных вод особое внимание должно уделяться прогнозу их качества. Состояние подземных вод в районе водозаборного сооружения определяется многими факторами: типом водозабора, граничными условиями водоносного горизонта, характером естественного движения подземных вод, фильтрационной неоднородностью пород (плановой и слоистой). Для водозаборов, эксплуатирующих напорные водоносные горизонты, особое значение имеет конструкция буровых скважин. Это связано с тем, что при наличии выдержанного верхнего водоупора наиболее уязвимым местом для попадания в водоносный пласт загрязнения является затрубное пространство водозаборных скважин. В случае

некачественной цементации обсадных труб возникают искусственные гидрогеологические окна, по которым загрязненные грунтовые воды могут беспрепятственно попадать в эксплуатируемый водоносный горизонт. Прогнозу качества подземных вод на участках водозаборов посвящены разделы в монографиях [10,11].

В целях предотвращения загрязнения подземных вод вокруг действующих водозаборов устанавливается зона санитарной охраны, которая обычно включает два пояса: I - пояс строгого режима и II - пояс ограничений. Первый пояс представляет собой участок вокруг водозабора с радиусом не менее 30 м при эксплуатации напорных вод и не менее 50 м при использовании грунтовых вод. Эта площадь ограждается и обеспечивается охраной, чтобы исключить возможность случайного загрязнения подземных вод непосредственно через водозаборные сооружения. Пояс ограничений (собственно зона санитарной охраны) охватывает территорию, использование которой ограничивается для устранения возможности появления источника загрязнения в той части водоносного горизонта, которая будет использоваться в течение 20 - 25 лет (расчетный срок эксплуатации водозабора), т.е. контур зоны санитарной охраны — это замкнутая линия, от любой точки которой вода будет двигаться до водозабора за время не менее расчетного срока эксплуатации водозабора. Размеры и конфигурация зоны санитарной охраны в плане определяются гидрогеологическими условиями и характером самого водозабора. Методы нахождения зоны санитарной охраны различны, однако в основе большинства из них лежит определение времени подтягивания воды из заданной точки водоносного горизонта к водозабору. Например, время движения воды к водозабору в условиях неограниченного однородного водоносного горизонта может быть определено по формуле:

где X_1 и Y_1 — координаты начального положения частицы жидкости, водозабор находится в начале координат, направление естественного потока подземных вод совпадает с направлением оси X; X_a определяется по следующей формуле $X_a = Q/(2\pi m k I)$; n , k , m — соответственно, активная пористость, коэффициент фильтрации и мощность водовмещающих пород; I — градиент уклона поверхности естественного потока; Q — дебит водозабора.

Формулы для расчета времени движения воды к водозабору в других граничных условиях приведены в работе [11]. В случае неоднородных водоносных горизонтов со сложными граничными условиями для определения конфигурации зоны санитарной охраны необходимо составление гидродинамической модели водозаборного участка, однако в большинстве случаев на практике удается схематизировать гидрогеологические условия и воспользоваться одной из имеющихся формул.

● III.5. Влияние на подземные воды сельскохозяйственного производства и гидротехнических сооружений

Сельскохозяйственное загрязнение подземных вод связано с выносом из почвы с дождевой или ирригационной водой ядохимикатов и удобрений. Также источником загрязнения являются стоки от животноводческих комплексов птице- и звероферм. Сельскохозяйственное загрязнение носит площадной, и даже региональный характер. Среди многочисленных удобрений, применяемых в сельском хозяйстве, наиболее распространенными являются азотные, фосфорные и калийные, при этом особое значение имеют азотистые соединения. Помимо удобрений их источником могут быть сточные воды животноводческих комплексов птице- и звероферм, силосные ямы, хозяйственно-бытовые стоки деревень и поселков.

При попадании соединений азота в почву аммонийная их форма (NH_4^{4+}) хорошо

солей аммония, которая не усваивается растениями и не сорбируется породами, окисляется сначала до нитритов, а затем до нитратов. По своим миграционным свойствам нитраты являются аналогом хлора, они отличаются высокой растворимостью и отсутствием гидрохимических барьеров. В связи с этим в сельскохозяйственных районах нитраты являются самым масштабным загрязнителем подземных вод. Грунтовые воды многих стран содержат нитраты в концентрациях, значительно превышающих предельно допустимые. Максимальные концентрации могут превышать 1000 мг/л.

Значительно меньшая доля в загрязнении подземных вод принадлежит калийным и фосфорным удобрениям. Соединения калия и фосфора хорошо усваиваются растениями, а также сорбируются глинистыми компонентами пород, и лишь незначительная их часть, не зафиксированная на этих барьерах, выносится в подземные воды.

Одним из наиболее опасных видов сельскохозяйственного загрязнения являются пестициды. Большинство из них относится к хлор- и фосфорорганическим соединениям. Степень опасности пестицидов оценивается по их токсичности, летучести, кумулятивным свойствам и стойкости. Токсичность и стойкость оказывают наибольшее влияние при оценке возможности загрязнения подземных вод. Большинство хлорорганических пестицидов относится к среднетоксичным соединениям, однако обладает ярко выраженными кумулятивными свойствами (способностью накапливаться) и являются стойкими и очень стойкими соединениями. В результате разложения многие из них превращаются в еще более токсичные соединения, чем исходные. Фосфорорганические пестициды в большинстве своем относятся к группе высокотоксичных соединений, однако они, как правило, малоустойчивы во внешней среде. Более подробные сведения о пестицидах можно получить в работах [9,28].

Воздействие на окружающую среду крупных животноводческих комплексов, птице- и звероферм соизмеримо с рассмотренными выше промышленными объектами. Отходы животноводства являются источниками сильного химического и бактериального загрязнения природных вод. В первую очередь, это органические вещества (мочевина, органические кислоты, фенолы, медицинские препараты, добавляемые в корм, СПАВы и т.д.), неорганические вещества (соединения азота, фосфора и калия, Cu, Mn, Zn, Co, As, Fe и другие микроэлементы), патогенные микроорганизмы (сальмонеллы, бациллы Банга), бактерии фекального загрязнения и гетеротрофные сапрофитные микроорганизмы. Загрязнение подземных вод происходит как в результате фильтрации из навозохранилищ, так и в случае несоответственных доз внесенной в почву в качестве удобрения навозной жижи.

Значительное влияние на подземные воды оказывают мелиоративные работы. Орошение сельхозугодий почти всегда приводит к нарушению водного и солевого баланса грунтовых вод, изменению их уровня и минерализации. В условиях аридного климата эти процессы могут привести к засолению земель. Наиболее эффективным способом борьбы с засолением является искусственный дренаж. Однако его применение может нанести значительный экологический ущерб водоемам — приемникам дренажного стока.

Другим важным направлением в мелиорации земель является их осушение. В балансе грунтовых вод на осушенных участках значительно возрастает величина инфильтрационной составляющей за счет уменьшения поверхностного стока. Так, при осушении болот величина инфильтрационного питания может возрастать с 6 до 35 % от суммы выпадающих осадков, что приводит к усиленному вымыванию питательных веществ из почвы. При значительных понижениях уровня грунтовых вод капиллярная кайма может опуститься ниже корнеобитаемого слоя, что вызывает ухудшение условий развития растительного покрова, а иногда и полную его деградацию.

При строительстве гидротехнических сооружений основное влияние на подземные воды оказывают процессы, связанные с подъемом или понижением уровня. В естественных условиях речные долины, как правило, играют роль региональных дрен для подземных вод. Естественные фильтрационные потоки направлены от водоразделов речных долин к руслам рек. При образовании водохранилищ происходит подпор подземных вод, что может приводить к заболачиванию значительных территорий. Часто в сферу гидродинамического влияния равнинных водохранилищ попадают населенные пункты и промышленные предприятия. При этом возникает необходимость осуществлять довольно сложную систему защитных мер.

При значительных повышениях уровня поверхностные воды начинают питать гидравлически связанные с ними водоносные горизонты. Это часто приводит к химическому и бактериальному загрязнению последних и, как следствие, к необходимости строительства дополнительных очистных сооружений на водозаборных скважинах.

IV. ВИДЫ И МЕТОДЫ ЭКОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эколого-гидрогеологические исследования должны быть направлены на решение следующих основных задач: оценка естественного гидрохимического состава подземных вод с точки зрения их экологического качества, предупреждение и раннее выявление загрязнения подземных вод, прогноз изменения качества воды в естественных и техногенных условиях, оценка последствий различных работ, связанных с изменением уровня подземных вод, гидрогеологическое обоснование водоохранных мероприятий, осуществление контроля за охраной подземных вод и уровнем их загрязнения.

Весь комплекс эколого-гидрогеологических исследований можно разделить на две стадии полевую и камеральную. Во время полевой стадии анализируются гидрогеологические условия территории, состав, свойства и состояние подземных вод, а также процессы, их определяющие. Особое внимание необходимо уделять имеющимся взаимодействиям в системе геологическая среда — биосфера — техносфера. Во время камеральной обработки проводится анализ полученной информации, составление баз данных, эколого-гидрогеологических карт, компьютерных моделей исследуемых процессов. Вся полученная и обработанная информация должна служить базой для эколого-гидрогеологического обоснования природоохранных мероприятий и решения задач по рациональному использованию подземных вод и водных ресурсов в целом.

IV.1. Мониторинг состояния подземных вод

Среди эколого-гидрогеологических работ первостепенное значение имеют наблюдения за режимом подземных вод, в особенности за их качественным состоянием, т.е. мониторинг. Поскольку состояние подземных вод зависит от состояния других природных сред (атмосферный воздух, поверхностные воды, почвы), мониторинг подземных вод должен быть тесно увязан с метеорологическими наблюдениями, мониторингом состояния поверхностных вод и почв. Первоочередным мероприятием при организации мониторинга подземных вод является создание режимной сети скважин, охватывающей как промышленные объекты и водозаборы, так и участки с ненарушенными гидрогеологическими условиями. Наблюдательными водопунктами могут быть не только скважины, но и родники, шахты, колодцы, другие каптажные сооружения. Они должны быть размещены в местах с наиболее типичными природными и техногенными условиями.

В зависимости от решаемых задач можно выделить фоновый, региональный и специализированный мониторинг.

Фоновая наблюдательная сеть предназначена для изучения естественного (фоновое) состояния подземных вод, выступающего в качестве исходного уровня, по отношению к которому оцениваются антропогенные изменения, наблюдаемые в подземных водах. Фоновые наблюдения представляют собой весьма сложную проблему, поскольку антропогенные эффекты в районах, не затронутых или слабо затронутых хозяйственной деятельностью, трудно различимы, но их выявление для своевременного принятия мер особенно необходимо.

По региональной наблюдательной сети изучают качество и уровенный режим подземных вод на крупных площадях, где их состояние в значительной степени определяется естественными гидрогеологическими условиями, качеством инфильтрующихся атмосферных осадков, состоянием поверхностных вод и почв. Точки наблюдений выбираются таким образом, чтобы охватить все водоносные горизонты, перспективные для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Специализированная сеть предназначена для выявления локального загрязнения подземных вод в районах крупных промышленных и сельскохозяйственных объектов и централизованных водозаборов. Основная ее задача заключается в оценке особенностей режима подземных вод в условиях активной антропогенной деятельности.

Сбор информации о динамике изменения различных эколого-гидрогеологических параметров должен быть направлен на составление прогноза состояния подземных вод в будущем в зависимости от видов и интенсивности хозяйственной деятельности. Мониторингу состояния подземных вод посвящены разделы в монографиях [11, 19, 28]. Правила отбора, консервации и хранения проб воды, а также методики их анализа приведены в работах [4, 29].

● IV.2. Принципы эколого-гидрогеологического картографирования

Наряду с мониторингом часто проводятся региональные исследования по оценке и прогнозу последствий техногенного воздействия на подземные воды. При этом основным предметом исследования являются подземные воды и характер их взаимодействия с объектами хозяйственной деятельности человека.

Целью региональных эколого-гидрогеологических исследований является гидрогеологическое и социально-экономическое обеспечение охраны и рационального использования как подземных вод в частности, так и водных ресурсов и геологической среды в целом. При этом необходимо учитывать природные особенности исследуемого района, существующие хозяйственные структуры и перспективы освоения территории. Результаты таких исследований отображаются, как правило, в виде комплекта карт [21].

Особенности и трудности эколого-гидрогеологического картирования заключаются в многообразии взаимоотношений и взаимосвязи современных техногенных и геологических процессов, по-разному проявляющихся в конкретных гидрогеологических условиях. В настоящее время существует много методик составления карт. В одних случаях отображается информация только по первому от поверхности земли водоносному горизонту, в других основное внимание уделяется горизонтам, эксплуатируемым на данной территории. Однако во всех случаях, как правило, отображается набор одних и тех же параметров. В связи с этим основные принципы эколого-гидрогеологического картографирования можно рассмотреть на конкретном примере — методике составления комплекта экогидрогеологических карт масштаба 1:200000, разработанной на кафедре гидрогеологии Санкт-Петербургского

государственного университета.

Основной целью составления комплекта карт является обеспечение водопользователей обзором информации о состоянии и степени защищенности подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов, характере их использования, видах и количестве техногенной нагрузки, перспективности хозяйственного использования подземных вод. При этом карты должны быть наглядными и составляться без привлечения значительных капиталовложений, т.е. полевые работы сводятся к минимуму, а основная информация берется из имеющихся топографических и специальных геологических и гидрогеологических карт. По хозяйственным объектам получение основной информации предусматривается по результатам анализа экологических паспортов предприятий, составляемых на основании ГОСТа 17.0.0.04-90.

Исходя из поставленных задач в комплект включены четыре сопряженные карты, которые позволяют сделать выбор оптимальных вариантов промышленного и сельскохозяйственного освоения территории, оценить изменения качества подземных вод под воздействием техногенеза и т.д.

Лист 1. Виды хозяйственной деятельности и потенциальные загрязнители подземных вод.

На карте в первую очередь сплошной закрашкой отображаются площади с отсутствием или наличием на них хозяйственной деятельности, что определяет возможность поступления в подземные воды загрязняющих компонентов антропогенного происхождения. Неосвоенные земли закрашиваются зеленым цветом, освоенные — серым или коричневым. На цветовой поля крапом наносится характер ландшафта в соответствии с условными знаками к топографическим картам масштаба 1:200000. Застроенные территории оконтуриваются линиями черного цвета, причем города и поселки городского типа — жирной линией, поселки и деревни — тонкой, для садоводств внутри контура наносится условный знак, отражающий сады. Хозяйственные объекты показываются точечными знаками. Они подразделяются на предприятия различного типа, хранилища отходов и водозаборы. Сельскохозяйственные предприятия (фермы) изображаются прямоугольником черного цвета. Внутри прямоугольника ставится аббревиатура ферм по их специализации; слева — количество голов скота, справа — основные потенциальные загрязнители (ОПЗ) подземных вод.

Предприятия по добыче (обогащению) полезных ископаемых обозначаются условными знаками, принятыми для карт полезных ископаемых. Обработывающие и теплоэнергетические предприятия изображаются кружками. Тип предприятия отражается цветом кружка или символом внутри него. Слева от знака ставится дробь, в числителе которой пишется количество жидких отходов, в знаменателе — твердых. Справа указываются ОПЗ.

Хранилища отходов, среди которых выделяются оборудованные и необорудованные, наземные и подземные, жидких и твердых отходов, изображаются в виде опрокинутой трапеции с соответствующей закрашкой или контуром внутри. Слева от знака указывается количество накопленных отходов, справа — ОПЗ.

Водозаборы обозначаются двойным кружком черного цвета. У водозаборов, использующих подземные воды, внутренний кружок затушевывается. Справа от знака указывается расход водозабора.

В качестве источников возможного загрязнения указываются транспортные магистрали различного вида (авто- и железные дороги, нефте- и газопроводы).

Поскольку подземные и поверхностные воды, как правило, имеют тесную взаимосвязь, на карту (общепринятыми условными обозначениями) наносятся озера, реки и другие водопоявления. Кроме того, прерывистой линией черного цвета показываются контуры выявленного загрязнения почв или грунтовых вод, направление движения грунтовых вод в этом случае указывается стрелкой.

На данной карте, как и на других, возможно применение дополнительных условных знаков, отражающих особенности картируемой территории.

Лист 2. Степень защищенности подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов.

На карте в первую очередь цветом отображается степень защищенности подземных вод от потенциального загрязнения с поверхности земли. В качестве критерия для оценки степени защищенности выбрано время проникновения загрязнения через вышележащие отложения в самых экстремальных условиях, т.е. в условиях насыщенного потока и инертного загрязнителя. Время фильтрации (Т) измеряется в сутках и определяется делением длины пути фильтрации на среднюю скорость движения воды. При этом, например, для напорного горизонта отдельно определяется время фильтрации воды с поверхности земли до уровня грунтовых вод и время перетекания из грунтового горизонта в напорный. Оценка защищенности производится по сумме полученных значений. Скорость фильтрации (V) определяется по формуле:

$$V = k/n(I - 4I_0 / 3),$$

где k — коэффициент фильтрации, n — активная пористость, I — напорный градиент, I_0 — начальный градиент.

Под начальным градиентом понимается величина напорного градиента, необходимая для начала фильтрации воды в данной породе. I_0 — может изменяться от $3 \cdot 10^{-4}$ для песков до 1,2 для глин.

Временные рамки для различных степеней защищенности выбраны исходя из того, что 400 сут — максимальное время выживания в подземных водах болезнетворных бактерий, для развития которых нужен живой белок. 4000 сут ориентировочно соответствует времени инфильтрации через десятиметровую толщу слабопроницаемых пород (суглинков). Указанная мощность выбрана в качестве критерия в связи с тем, что является общепринятой большинством исследователей для оценки степени защищенности грунтовых вод. Защищенными считаются участки водоносных горизонтов, где фильтрация воды с поверхности земли невозможна, при этом различными оттенками зеленого цвета показываются причины (в эксплуатируемом водоносном горизонте напор выше, чем в вышележащем; наличие в разрезе водонепроницаемых отложений (глин); обе причины одновременно). Такая градация вводится в связи с тем, что, в отличие от литологического состава, соотношение напоров может быть изменено в процессе эксплуатации, и защищенность по этому признаку можно считать условной. В то же время защищенность, определяемая только по литологическим признакам, может не учесть наличие неизвестных гидрогеологических окон.

Штриховкой показывается такой косвенный признак защищенности водоносного горизонта, как его положение в гидрогеологическом разрезе от поверхности земли. Конкретная информация о мощности слабопроницаемых отложений, соотношении напоров и направлении возможного перетекания выносится в виде цифр и стрелки рядом с опорными скважинами.

Штриховкой крест на крест показываются площади, где отсутствуют пресные подземные воды, пригодные для централизованного водоснабжения. К ним относятся районы с минерализацией воды выше 3 г/л, очень низкой водообильностью водовмещающих пород или с локальным распространением водоносных горизонтов. Кроме того, на карте указываются границы месторождений пресных подземных вод и основные направления движения подземных вод.

Лист 3. Химический состав и качество подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов.

Карта химического состава и качества подземных вод строится для основных эксплуатируемых в целях хозяйственно-питьевого водоснабжения горизонтов, а следовательно, отражает состояние подземных вод, имеющих минерализацию, пригодную для питьевых целей.

Минерализация на карте показана штриховкой. Рекомендуемая ГОСТом предельная величина минерализации составляет 1,0 г/л, для аридных районов допускается сухой остаток в 1,5 г/л (на карте это соответствует границе в 1500 мг/л). В некоторых аридных, особенно бедных водой областях используются воды с минерализацией до 3 г/л, что и определяет верхнюю границу градации вод по минерализации. Многими исследователями в настоящее время рекомендуется нижний предел минерализации, благоприятный для здоровья человека, равный 0,2 г/л.

Основным результирующим параметром, по которому дифференцируются подземные воды и который показывается на карте цветом, является качество. Разделение вод по качеству производится на основании суммированного сопоставления трех наиболее важных химических параметров: минерализации, жесткости и содержания фтора, а также по степени соответствия воды нормам ГОСТа. Нормируемый ГОСТом предел жесткости составляет 7,0 мг-экв/л. Нижний оптимальный предел, как и для основной массы компонентов, не гостирован. Но современными исследованиями доказано, что очень низкое содержание, а также отсутствие ряда биологически активных компонентов не благоприятны для здоровья человека. Для величины общей жесткости (суммарное содержание Ca и Mg) такой минимум определен в 1,5 мг-экв/л. Аналогично по содержанию фтора оптимальным интервалом является 0,5-1,5 мг/л.

Таким образом, воды по качеству разделены на две основные группы:

соответствующие и не соответствующие нормам ГОСТа. Среди удовлетворяющих нормам ГОСТа вод выделяются воды высокого и очень высокого (рекомендуемого) качества. Последнему будут соответствовать воды с минерализацией 0,2 - 1,0 г/л, с величиной жесткости 1,5 - 7,0 мг-экв/л и содержанием фтора 0,5 - 1,5 мг/л.

Качество не соответствующих нормам ГОСТа вод подразделяется на три категории: среднее, удовлетворительное и плохое. К водам среднего качества относятся те, которым требуется простая очистка аэрированием (от сероводорода, радона или легко окисляемого железа). К удовлетворительного качества водам относятся те, что требуют обеззараживания (с повышенным содержанием колититра). К плохим по качеству водам относятся те, которым требуется комплексная, сложная очистка. Крапом предусмотрено выделение площадей с аномальным содержанием тех или иных загрязняющих компонентов. Под аномальными, с концентрацией таких компонентов ниже ПДК, подразумеваются содержания выше фоновых, но ниже ПДК. Информация о дебите конкретных действующих водозаборов, минерализации и общей жесткости воды, наличии и средней концентрации обнаруженных загрязняющих компонентов выносятся в виде цифр и букв рядом с условным знаком водозабора. Кроме того, на карте указываются границы месторождений пресных подземных вод, основные направления движения подземных вод и площади, где отсутствуют пресные подземные воды, пригодные для централизованного водоснабжения.

Лист 4. Перспективность хозяйственного использования подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов.

Перспективность использования определяется косвенно. На карту выносятся все данные, на основании которых потенциальный пользователь мог бы оценить перспективность хозяйственного использования подземных вод исходя из своих конкретных задач. Цветом на карте отображается соотношение объема эксплуатации и прогнозных ресурсов в пределах выделенных месторождений подземных вод. В пределах выделенных цветовых полей цифрами в рамке указываются конкретные значения суммарного расхода всех действующих водозаборов и прогнозные ресурсы или эксплуатационные запасы, определенные по категории С2. На основании этой информации пользователь может судить об интенсивности использования подземных вод на данной территории и возможности увеличения степени их эксплуатации. Также на данную сводную карту выносятся сводная информация с листов 2 и 3, при этом в обобщенном виде показывается степень защищенности подземных вод и наличие в них аномалий с содержанием загрязняющих компонентов ниже и выше ПДК.

Информация о дебите конкретных действующих водозаборов и качестве эксплуатируемой воды наносится цифрами рядом с условным знаком водозабора.

Кроме того, на карте указываются границы месторождений пресных подземных вод, основные направления движения подземных вод и площади, где отсутствуют пресные подземные воды, пригодные для централизованного водоснабжения.

В последнее время все большее распространение получают методики составления компьютерных эколого-гидрогеологических карт. Это связано с широким внедрением в различных отраслях науки и народного хозяйства технологии GIS (геоинформационные системы). По данной технологии компьютерная база данных сопряжена с электронной картой, в результате у пользователя появляется возможность показать в заданном масштабе графическую развертку любых имеющихся в базе данных эколого-гидрогеологических параметров или их производных. При создании компьютерных карт намного увеличивается диапазон накопления исходных данных, возможности их обработки, интерпретации и визуализации, несомненным достоинством данных карт является также возможность оперативного внесения дополнительной информации, связанной с изменением ситуации на картируемой территории.

● IV.3. Прогнозные модели

Модели, используемые для прогноза распространения загрязнений в экологической гидрогеологии, условно можно разделить на два типа: гидродинамические и гидрогеохимические. Гидродинамические модели довольно полно описывают перемещение подземных вод в водоносных системах, но недостаточно учитывают взаимодействие этих вод с вмещающими их породами и загрязненных вод с незагрязненными. Смешение растворенных веществ с водами вмещающих пород описывается обобщенными коэффициентами дисперсии; взаимодействие с водовмещающими породами — с помощью коэффициентов сорбции [8, 25, 47]. При использовании этих моделей геохимическое поведение растворенных веществ оказывается неизвестным, и основное их применение связано с исследованием и прогнозом распространения инертных загрязняющих веществ.

В гидрогеохимических моделях основное внимание уделяется моделированию процессов, протекающих в системе вода — порода. При этом используется один из двух типов модельных представлений о природе раствора (межионное взаимодействие или ассоциация — гидратация ионов) и два типа математических описаний систем (методы минимизации свободной энергии или классические методы расчета ионных равновесий) [37]. Методические подходы каждой из пар не пересекаются, но вполне уместны и обладают собственными преимуществами и недостатками.

Гидрогеохимическое моделирование используется в экологической гидрогеологии для решения различных задач. Полную оценку качества воды, заключение о стабильности данных показателей (защищенности водоносного горизонта), целенаправленное изменение химического состава воды невозможно сделать без применения современных методов гидрогеохимического моделирования. В гл. II отмечалось, что биохимическое действие биологически активных элементов изменяется в зависимости от формы их нахождения в растворе. Большинство биологически активных элементов является комплексообразователями (Mg, Cu, Fe, Co, Zn, Ni, Mn) или анионогенными элементами (Mo, Se, As, I, F). Многие из них могут иметь в подземных водах различную валентность ($\text{Fe}^{[+2,+3]}$; $\text{Mn}^{[+2,+3,+4]}$; $\text{As}^{[-3,+3,+5]}$; $\text{Se}^{[+4,+6]}$; $\text{Cr}^{[+3,+6]}$; $\text{Cu}^{[+1,+2]}$) и, следовательно, находиться в виде различных миграционных форм. Действительный состав раствора, включающий, в отличие от брутто-состава, все устойчивые миграционные формы, в общем случае не определяется аналитически, а вычисляется. Необходимость такой расчетной работы, помимо сказанного выше, определяется еще и хорошо известным фактом зависимости поведения растворенных веществ в миграционных процессах от их распределения по разным миграционным формам (имеются в виду процессы ионного обмена и адсорбции, осаждения и растворения минералов, окисления и восстановления и т.д.). Задача определения неизвестного действительного состава воды по ее заданному брутто-составу состоит в моделировании (численной имитации) всех возможных в ней ионных равновесий. Применительно к природным гидрохимическим системам она была сформулирована

около 30 лет назад С.А. Брусиловским (Россия) и Г. Хелгесоном (США). Высокая степень сложности соответствующих расчетов исключает возможность эффективного решения задачи без применения современных компьютеров.

Еще одной областью применения гидрогеохимического моделирования является мониторинг качества подземных вод. При определенных pH - Eh условиях некоторые нормируемые элементы не могут находиться в жидкой фазе в сколько-нибудь значительных концентрациях. Таким образом, после определения макрокомпонентного состава воды и pH - Eh параметров водоносного горизонта с помощью программы, моделирующей формы миграции микроэлементов и пределы растворимости их соединений в данных условиях, можно существенно сократить список определяемых в воде нормируемых элементов. В условиях постоянного роста цен на химико-аналитические работы такой подход дает значительный экономический эффект.

И, наконец, весьма перспективной областью применения гидрогеохимического моделирования является разработка технологий управления качеством воды целенаправленным искусственным воздействием на распределение элемента по миграционным формам прямо в водоносном горизонте (путем создания геохимических барьеров и т.д.). Более подробно с методами гидрогеохимического моделирования можно познакомиться в работе [31].

Наиболее перспективным направлением разработок в области прогнозного моделирования процессов, связанных с эксплуатацией и загрязнением подземных вод, является соединение в одной программной системе "гидродинамической" и "гидрогеохимической" моделей. В настоящее время уже имеются первые варианты таких программ [38].

● IV.4. Минимизация отрицательного воздействия на подземную гидросферу

Основой для уменьшения отрицательного антропогенного воздействия на подземные воды является их рациональное использование. Практика использования природных вод в настоящее время отличается отсутствием количественных оценок целесообразности той или иной формы эксплуатации водных ресурсов и, как следствие, расточительным расходом материальных и природных ресурсов. Так, на территории России для питьевого и хозяйственного водоснабжения часто используются пресные поверхностные воды. При достаточном объеме качество поверхностных вод почти повсеместно является неудовлетворительным, вследствие чего затраты на водоподготовку стремительно возрастают. Вместе с тем, значительные запасы чистых пресных подземных вод используются недостаточно. Обострение внимания к проблеме охраны окружающей среды, все возрастающее использование математических методов для решения задач управления качеством и рационального использования природных, в том числе и водных, ресурсов, привело к широкому применению в экологической гидрогеологии информационных технологий. Процесс внедрения информационных технологий в решение практических и научных задач ускоряется развитием вычислительной техники, позволяющей детально проанализировать большое количество вариантов природопользования за ограниченное время. В свою очередь, развитие вычислительной техники побуждает математиков к разработке новых и развитию существующих методов компьютерной обработки данных и математического моделирования.

Одним из основных методов решения вопросов, связанных с рациональным использованием подземных вод, является применение компьютерных информационных систем, которые позволяют оценить качество природных вод, используемых в различных целях, наличие месторождений минеральных и питьевых вод и выдать рекомендации по их рациональному использованию. Такие системы необходимы административным и планирующим организациям, предпринимателям и водопользователям, природоохранным органам, исследователям, занимающимся проблемами гидрологии, гидрогеологии, экологии, медицинской географии, рационального использования ресурсов. Данные информационные (экспертные) системы представляют собой программы управления базами данных, которые помимо

предоставления информации позволяют проводить численное прогнозное моделирование (вычислительный эксперимент) на основе введенных в компьютер данных о том или ином варианте водопользования. Однако для достоверного решения задач управления водными ресурсами на практике требуется системный подход, учитывающий все необходимые стороны изучаемого процесса. В настоящее время внедрение системного анализа на основе математического моделирования в практику принятия решений часто сдерживается не отсутствием математических методов и соответствующего компьютерного обеспечения, а недостаточной информированностью лиц, принимающих подобное решение. Преодоление подобных трудностей и является основной задачей при внедрении экспертных компьютерных систем, позволяющих оперативно решать часто встречающиеся задачи по управлению природными водными ресурсами, такие, как:

- извлечение (добыча) воды из водоносного горизонта;
- естественное и искусственное пополнение запасов подземных вод;
- химический состав и загрязнение подземных вод;
- совместное управление запасами подземных и поверхностных вод;
- влияние подземных вод на инженерные сооружения;
- различные комбинации перечисленных проблем.

Таким образом, учитывается как количественная (объем водоотбора), так и качественная (распространение загрязнений) стороны водопользования. Кроме того, информационные системы предоставляют возможность получить статистическую информацию о состоянии природных вод, эксплуатационных запасах, имеющихся загрязнениях, экологическом качестве природных вод, произвести оценку защищенности подземных вод.

Зная потребность в воде по районам и отраслям, можно дифференцировать ее потребление по качеству: на технические и производственные нужды забирать воду худшего качества, хорошую же воду использовать только для питьевого водоснабжения. Но административным указом и штрафами, как показывает опыт, потребителя не заставить регламентировать водоотбор. Одним из наиболее эффективных инструментов регулирования интенсивности антропогенного воздействия на подземные воды является экономическое стимулирование рационального водоотбора и экологически безопасного размещения производства. Известно, что население закономерно реагирует на изменение цен на воду. Поэтому отдельной, и весьма актуальной, задачей является установление оптимальных размеров водопользовательских платежей. Стоимость природных вод должна способствовать внедрению оптимальной схемы водопользования в регионе. Необходимо также анализировать альтернативные пути использования ресурсов подземных вод в качестве лечебных, промышленных, мелиоративных. Рациональное использование подземных вод не только уменьшит отрицательное воздействие на подземную гидросферу, но и даст необходимые средства для проведения различных природоохранных мероприятий.

Л и т е р а т у р а

1. Авицын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека. М., 1991. 496с.
2. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л., 1970. 444 с.
3. Вода: контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: Справ изд./Под ред. С.А.Подлепы. М., 1992. 389 с.
4. Воронов А.Н., Шварц А.А. К вопросу об оценке качества пресных подземных вод//Вестн. СПб. ун-та. Сер.7. 1994. Вып. 4.
5. Вредные химические вещества: Справ.изд./Под ред В.А.Филова и др. Л., 1988 - 1990. Т. 1 - 4.
6. Гавич И.К. Гидрогеодинамика. М., 1988. 349 с.

7. Гавриленко В.В. Экологическая минералогия и геохимия месторождений полезных ископаемых. СПб., 1993. 150 с.
8. Гидрогеодинамические расчеты на ЭВМ /Под ред. Р.С.Штенгелова. М., 1994. 335 с.
9. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л., 1987. 248 с.
10. Гольдберг В.М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах. М., 1976. 153 с.
11. Гольдберг В.М., Газда С. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М., 1984. 262 с.
12. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П., Лукьянчикова Л.Г. Подземное захоронение промышленных сточных вод. М., 1994. 282 с.
13. Гончаров С.И., Землякова Т.Д., Чуб Л.Е. Гигиеническое нормирование химических элементов в воде с учетом минерального обмена//Гигиена и санитария. 1992. №1.
14. Зайцева О.В., Ковалев В.В., Шувалова Н.Е. Современное биотестирование вод, требования к тест-организмам и тест-функциям с позиций сравнительной физиологии и физиологии адаптационных процессов //Журнал эволюционной биохимии и физиологии. Т.30. 1994. № 4.
15. Зальцберг Э. Загрязнение грунтовых вод органическими веществами в районах свалок провинции Онтарио //Водные ресурсы. 1992. № 2.
16. Калмыков П.Е. К вопросу об оценке химического состава питьевой воды//Гигиена и санитария. 1964. №8.
17. Касовский Г.Н., Федосеева В.Н., Рашитова Г.С. К обоснованию ПДК железа в воде//Там же. 1992. №11-12.
18. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. Гидрогеохимия. М., 1993. 384с.
19. Ковалевский В.С. Влияние изменений гидрогеологических условий на окружающую среду. М., 1994. 138 с.
20. Ковальский В.В. Геохимическая среда, здоровье, болезни//Физиологическая роль и практическое применение микроэлементов. Рига, 1976.
21. Козлова Э.В., Воронов А.Н. Эколого-гидрогеологическое картирование территории Ижорского плато с целью рационального использования водных ресурсов //Вестн. СПб. ун-та. Сер.7. 1992. Вып.4.
22. Крайнов С.Р., Швец В.М. Геохимия подземных вод водохозяйственно-питьевого назначения. М., 1987. 237 с.
23. Кузнецов С.Р., Орлов С.Н., Чурина С.К. Влияние низких концентраций кальция и магния в питьевой воде на транспорт одновалентных катионов и кальция в эритроцитах нормотензивных крыс// Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1991. №5.
24. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. М., 1988. 288 с.
25. Лукнер Л., Шестаков В.М. Моделирование миграции подземных вод. М., 1986. 207 с.
26. Лутай Г.Ф., Макаров О.А. Гигиеническая оценка питьевых вод гидрокарбонатного класса группы кальция //Гигиенические аспекты опреснения воды. Шевченко, 1988.
27. Лутай Г.Ф. Химический состав воды и здоровье населения// Гигиена и санитария. 1992. №1.
28. Методические рекомендации по выявлению и оценке загрязнения подземных вод /Отв.ред. В.М. Гольдберг. М.,1990. 76 с.
29. Методические рекомендации по геохимическому изучению загрязнения подземных вод / С.Р. Крайнов, В.П. Закутин, В.Н. Кладовщиков и др. М., 1990. 106 с.
30. Методы биотестирования качества водной среды: Сб.ст./Под ред. О.Ф. Филенко. М., 1989. 132 с.
31. Методы геохимического моделирования и прогнозирования в гидрогеологии /С.Р. Крайнов, Ю.В. Шваров, Д.В. Гричук и др. М., 1988. 254 с.

32. Методы охраны подземных вод от загрязнения и истощения/Под ред. И.К. Гавич. М., 1985. 320 с.
33. Мироненко В.А. Динамика подземных вод. М., 1983. 357 с.
34. Мироненко В.А., Мольский Е.В., Румынин В.Г. Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. Л., 1988. 279 с.
35. Москалев Ю.И. Минеральный обмен. М., 1985. 288 с.
36. Ноздрюхина Л.Р., Гринкевич Н.И. Нарушение микроэлементного обмена и пути его коррекции. М., 1980. 280 с.
37. Озябкин В.Н. Гидрогеохимическое моделирование на ЭВМ, состояние и перспективы //Применение ЭВМ при гидрогеохимическом моделировании: Тезисы докл. Всес. семинара. Л., 1991.
38. Озябкин С.В., Озябкин В.Н. Компьютерные моделирующие системы для прогноза и предотвращения экологических последствий переноса загрязнений подземными водами // Тезисы докл. Всерос. совещ. "Многоцелевые гидрогеохимические исследования в связи с поисками полезных ископаемых и охраной подземных вод". Томск, 1993.
39. Основные свойства нормируемых в водах органических соединений /Отв.ред. М.М. Сенявин, Б.Ф. Мясоедов. М., 1987.
40. Перельман А.И. Геохимия. М., 1979. 423 с.
41. Плотников Н.И. Подземные воды - наше богатство. М., 1990. 206 с.
42. Плотников Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий. М., 1989. 268 с.
43. Плотников Н.И., Карцев А.А. К вопросу о научном содержании нового экологического направления современной гидрогеологии //Водные ресурсы. 1991. №5.
44. Плотников Н.И., Карцев А.А., Рогинец Н.И. Научно-методические основы экологической гидрогеологии. М., 1992. 62 с.
45. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И. О совершенствовании санитарного законодательства и контроля в области гигиены питьевого водоснабжения//Гигиенические аспекты опреснения воды. Шевченко, 1988.
46. Рахманин Ю.А., Михайлова Р.И., Ческиз А.Б., Роговец А.И. Гигиенические требования и классификация категорий качества бутылированных питьевых вод: Матер. междунар. когресса "Вода: экология и технология". М., 1994. Т.4.
47. Решение задач охраны подземных вод на численных моделях /Г.Н.Гензель, Н.Ф.Караченцев, П.К.Коносавский и др. М., 1992. 240 с.
48. Руководство по контролю качества питьевой воды. Т. 1-3. Женева, 1994.
49. Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территорий городов и городских агломераций/ Тез. докл. III Всес. семинара. М., 1987. 408 с.
50. Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза. М., 1987. 335 с.
51. Человек. Медико-биологические данные: Доклад рабочей группы комитета МКРЗ. М., 1977. 496 с.
52. Чижов С.В., Синяк Ю.Е. Водобеспечение экипажей космических кораблей//Проблемы космической биологии. Т. XXIV. М., 1973.
53. Keller W.D. Drinking water: A geochemical factor in human health //Geological Society of America bulletin. №3. 1978. Vol. 89.

Алексей Аркадьевич Шварц
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГИДРОГЕОЛОГИЯ. Учебное пособие

Зав.редакцией Г. Чердниченко

Редактор М. Юдович

Техн. редактор Л. Иванова

Лицензия ЛР №040050 от 15.08.1996 г.

Подписано в печать с оригинала-макета 25.11.96. Ф-т 60x84/16.

Печать офсетная. Усл.печ.л. 3,49. Уч.-изд.л. 3,42. Тираж 250 экз. Заказ № .

Редакция оперативной подготовки изданий Издательства СПбГУ.

199034. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7/9.

Центр оперативной полиграфии СПбГУ.

199034. С.-Петербург, наб. Макарова, 6.