

ОСНОВЫ  
ГИДРО-  
ГЕОЛОГИИ

---

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
И ОХРАНА  
ПОДЗЕМНЫХ  
ВОД

---

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ИНСТИТУТ ЗЕМНОЙ КОРЫ  
КОМИССИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

ОСНОВНЫЕ  
ПРОЦЕДУРЫ  
И МЕТОДЫ

ИЗДАНИЕ  
1970



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
1970

---

# ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

---

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. А. ДЗЮБА, И. С. ЗЕКЦЕР, К. П. КАРАВАНОВ, И. С. ЛОМОНОСОВ, Н. А. МАРИНОВ, Е. В. ПИННЕКЕР (председатель), Б. И. ПИСАРСКИЙ, Н. И. ПЛОТНИКОВ, О. Н. ТОЛСТИХИН, Л. Л. ШАБЫНИН (ученый секретарь), С. Л. ШВАРЦЕВ, П. Ф. ШВЕЦОВ, В. М. ШЕСТАКОВ.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Новосибирск • 1983

---

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

---

Ответственные редакторы  
д-р геол.-мин. наук Н. А. МАРИНОВ,  
д-р геол.-мин. наук Е. В. ПИННЕКЕР

3960



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
Новосибирск · 1983



**Основы гидрогеологии. Использование и охрана подземных вод./**  
**Маринов Н. А., Орадовская А. Е., Пиннекер Е. В.**  
**и др.— Новосибирск; Наука, 1983.**

Характеризуется использование пресных и солоноватых вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения мелиорируемых земель, а минеральных — в лечебных целях, в качестве сырья для промышленности и источника тепла.

Рассматриваются различные аспекты охраны подземных вод от загрязнения и истощения (источники загрязнения и механизм их распространения в подземных водах, мероприятия по защите подземных вод от загрязнения и истощения, охрана подземных вод в аридных областях и на территории криолитозоны). В заключение ставится проблема управления режимом подземной гидросферы.

Книга рассчитана на специалистов: гидрогеологов, геологов, геохимиков, водоснабженцев и научных работников, занимающихся проблемами использования и охраны подземных вод.

Ил. 55, табл. 46, библиогр. 231.

**А В Т О Р Ы:**

*Н. А. Маринов, А. Е. Орадовская, Е. В. Пиннекер, А. А. Дзюба, И. С. Ломоносов, В. Н. Борисов, М. Х. Королькова, Н. Г. Петрова, О. Н. Толстихин, Л. П. Алексеева*

## ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемая заключительная книга шеститомной монографии «Основы гидрогеологии» посвящена двум тесно связанным проблемам — использованию и охране подземных вод.

Изучение подземной гидросферы ведется не только ради установления ее состава и объема или выяснения роли воды в геологических процессах. Главная цель — хозяйственное использование заключенных в ней ресурсов, в первую очередь подземных вод. Роль их чрезвычайно важна в жизни и деятельности человека (использование для бытовых нужд, в промышленности, бальнеологии и сельском хозяйстве). Вряд ли будет преувеличением сказать, что без воды земных недр не обходится ни одна отрасль промышленности и сельского хозяйства, ни один населенный пункт. На службу человеку привлекаются также парогидротермы, подземные льды и другие составные компоненты подземной гидросферы, масштабы освоения которых, однако, не идут ни в какое сравнение с подземными водами, поэтому вопросы их использования затронуты в самом общем виде.

Касаясь роли и значения подземных вод, академик А. П. Карпинский на I Всесоюзном гидрогеологическом съезде (1931 г.) сказал: «Нет более драгоценного ископаемого как вода». Выражение патриарха русской геологии стало крылатым. Действительно, подземные воды, принимая во внимание их важные экономические, социальные и другие функции, представляют собой полезное ископаемое номер один, поскольку его использование имеет комплексный характер.

Хозяйственное использование подземных вод во многом определяется степенью их минерализации, составом, физическими свойствами. Пресные (а иногда и слабоминерализованные) воды служат источником хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения мелиорируемых земель. Это *питьевые, технические, оросительные* и другие воды. Большое хозяйственное значение имеют выводимые из недр Земли *минеральные* воды. Термин этот весьма неопределенный, он включает воды, которые обладают какой-то концентрацией минеральных веществ, растворенных газов и органических соединений или имеют особые физические свойства (например, повышенную температуру). До недавнего времени так назывались воды, обычно употребляемые в бальнеологических целях. В последние 20—30 лет смысл термина расширился, многие исследователи (Б. А. Бедер, Е. В. Посохов, Н. И. Толстихин и др.) различают среди минеральных вод: 1) *лечебные* — применяются для лечения на курортах и в санаториях (питьевые, ванны и другие процедуры), а также во внекурортной обстановке в качестве лечебных и столовых вод, 2) *промышленные* — являются сырьем для извлечения промышленно-ценных компонентов (поваренная соль, бром, иод, литий и многие другие элементы, перенос которых все время растет) и 3) *термоэнергетические* — для получения подземного тепла.

Подземные воды — очень весомая часть водных ресурсов Земли. На них приходится примерно 1/3 всех возобновляемых ресурсов пресных

вод. Гораздо выше доля минеральных вод в недрах земли: она превышает, по самым скромным расчетам, 60—75% гидроминеральных ресурсов, пригодных к освоению.

Сколько-нибудь надежных цифр, характеризующих мировое потребление подземных вод, к сожалению, нет. Одни страны, богатые поверхностными водами, очень мало используют подземные воды, другие — полностью или почти полностью базируются на них водное хозяйство. Даже СССР — страна, обеспеченная поверхностными водоисточниками, где средняя доля подземных вод в структуре водопотребления равна лишь 18—20%, — имеет целые территории и города, где она достигает 50—60% и более. Весьма высок уровень потребления подземных вод в странах Европы, Африки, Северной Америки.

В целом использование подземных вод — пресных и особенно минеральных — еще отстает от потенциальных возможностей, прежде всего в неосвоенных регионах, а также в развивающихся странах. Однако некоторые области с экстремальными климатическими условиями, агломерации городов и горно-промышленные районы местами исчерпали резервы подземных вод для хозяйственно-питьевого и оросительного водоснабжения. В районах с водным дефицитом очень острой становится проблема рационального использования и охраны водных ресурсов вообще и подземных вод в особенности, так как большей частью именно за счет подземных вод планируется водообеспечение.

Ушло в прошлое время, когда подземные водные ресурсы представлялись неисчерпаемыми. В результате возросшей производственной деятельности человека происходит загрязнение и истощение подземных вод. Во многих местах естественный режим сменился нарушенным; негативные изменения, достигнув критических значений, становятся необратимыми. К любому воздействию на подземные воды надо относиться очень внимательно, ибо, в отличие от поверхностных вод, признаки загрязнения и истощения в подземной гидросфере обнаруживаются не сразу, а спустя продолжительное время.

Нерациональное, нехозяйское использование водных ресурсов, прежде всего их наиболее дефицитной части — подземных вод, грозит самыми серьезными последствиями. Достаточно сказать, что почти 1/3 населения земного шара испытывает недостаток в питьевой воде или употребляет ее недостаточно чистой. Из-за применения недоброкачественной воды почти 500 млн. чел. ежегодно болеют, при этом 10 млн., главным образом дети, погибают. По данным Всемирной организации здравоохранения, около 80% всех случаев заболеваний в развивающихся странах связано с употреблением воды, не отвечающей санитарным нормам. Плохо с водоснабжением в странах аридной зоны Азии и Африки: нередко здесь жители потребляют в день не более 3 л воды, т. е. тот минимум, без которого нельзя жить человеку. Даже в такой развитой стране, как США, свыше 1000 городов и крупных населенных пунктов ощущают недостаток в воде, а многие города периодически «сажаются на голодные водные пайки». Важность водоохраных мероприятий не требует многословного комментария. Достаточно сказать, что, несмотря на профилактику, загрязнение и истощение подземных вод пока прогрессируют, поскольку действующие охранные мероприятия явно недостаточны. Особенно большой вред наносится подземным водам в индустриально развитых странах (США, ФРГ и т. д.). Мероприятия по охране подземных вод нуждаются в ужесточении и большей действенности — к такому выводу приходят ученые, хозяйственники, государственные деятели.

Загрязнение и истощение подземных вод отрицательно сказываются на других компонентах окружающей природной среды: наземной гидросфере, природных ландшафтах и т. д. Поэтому об охране подземных вод в книге говорится не обособленно, а в комплексе с другими природоохранными мероприятиями. Комплексное регулирование качественного состояния и ресурсов внутриземной влаги — насущное требование сегодняшнего дня.

Чтобы книга отвечала современному уровню знаний, необходимо было прочесть обширную литературу (отечественную и зарубежную) и учесть огромный фактический материал. Однако авторы далеки от мысли, что проблемы использования и охраны подземных вод изложены ими с надлежащей полнотой. Тем не менее пока это единственная сводка, освещающая в целом и с единым подходом две связанные между собой проблемы — использование и охрану подземных вод, которые в последние годы стали весьма сложными, важными и, пожалуй, наиболее актуальными в комплексе гидрогеологических проблем. Вероятно, книга заинтересует как гидрогеологов, так и специалистов по водному хозяйству.

Авторский коллектив выражает благодарность всем, кто представил материал для написания книги — работникам Минводхоза и Мингео СССР, ведомственным институтам (ВОДГЕО, ВСЕГИНГЕО, ЦНИИ курортологии и физиотерапии, ВНИИзарубежгеологии, Институту водных проблем и географии АН СССР) и некоторым другим организациям Советского Союза и зарубежных стран. Особую признательность заслуживают рецензенты И. Я. Пантелеев и Б. И. Писарский и члены редколлегии К. П. Караванов, О. Н. Толстихин, П. Ф. Швецов, С. Л. Шварцев и Л. Л. Шабынин, критические замечания и ценные советы которых позволили устранить отдельные упущения и недочеты, а также В. А. Плешевенков и Э. А. Рубинчик, оказавшие помощь в оформлении рукописи и изготовлении графики. Авторский коллектив и члены редколлегии выражают глубокую признательность академику А. Л. Яншину за помощь в издании шеститомника „Основы гидрогеологии“.

---

## 1. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ — ВАЖНЕЙШАЯ ПРОБЛЕМА СОВРЕМЕННОСТИ

Вода — самое распространенное вещество на земле. Она покрывает земную поверхность и пронизывает земную кору, участвует в природных процессах, в ней нуждаются все. Поистине вода, как говорил В. И. Вернадский, «всюдна». Но она также природный минеральный ресурс и в силу присущих ей свойств ничем не заменима. Отсюда уникальность и ценность водных ресурсов.

Человек нуждается в пресной воде прежде всего для хозяйственно-питьевых целей, производственных технологических процессов и орошения. Используются как наземные, так и подземные воды. Доля последних все время возрастает; при этом они пригодны не только для водоснабжения и орошения, но и для лечебных, промышленных (извлечение промышленно ценных компонентов) и термоэнергетических целей.

Человеку в сутки достаточно 3 л воды, фактически же ее расходует гораздо больше. Каждый житель развивающихся стран потребляет 35—40 л воды в сутки. В развитых странах на городского жителя приходится еще больше — от 100 до 1000 л (в Москве, например, 650 л). Производство каждого промышленного изделия и любой сельскохозяйственной продукции требует определенного количества воды ( $\text{м}^3/\text{т}$ ): сталь 150—200, бумага 450—800, каучук 2850, пшеница 1800, хлопок 7500, мясо 20 000, лекарства 56 000 и т. д. Поэтому суммарное водопотребление на душу населения составляет несколько тысяч литров в сутки (в СССР — до 3000—6500).

Между тем водообеспеченность земного шара далеко не равномерная. В странах с разветвленной речной сетью (Канада, Норвегия и т. д.) на каждого жителя приходится более 25—50 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$  речного стока (в СССР — в среднем 16,6 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ). Наименьшая водообеспеченность в странах аридной зоны — до 100—120  $\text{м}^3/\text{год}$  (например, в пустынных районах СССР, в частности Туркмении).

Вопросы охраны окружающей природной среды\* в последние 30 лет приобрели необыкновенную остроту, они обсуждаются в печати, для их решения расходуются значительные средства. Природные ресурсы не безграничны. Более того, они иссякают. Громадный масштаб выявленных неблагоприятных воздействий на природу и опасность их увеличения до размеров, обуславливающих необратимые изменения в экосистеме, выдвигают охрану окружающей природной среды, в особенности водных ресурсов, в число важнейших проблем современности.

Подсчитано, что в связи с ростом промышленного производства и увеличением населения по сравнению с 1976—1980 гг. потребность на земле

---

\* Термин «охрана природы» получил широкое распространение после I Международного съезда по охране природы (1913 г.). В последние 5—10 лет все чаще встречается понятие «охрана окружающей природной среды», которое означает систему государственных и общественных мероприятий, обеспечивающих сохранение природных комплексов и рациональное природопользование. По существу, в эти термины вкладывается одинаковое содержание. В дальнейшем в этом же значении используется более краткий термин «охрана окружающей среды».

в воде к 2000 г. увеличится в 2 раза, а количество пресной воды на одного человека сократится на 35%.

В связи с глобальными масштабами переноса загрязняющих веществ с воздушными массами и водой, решение задач охраны окружающей среды в рамках одной или нескольких стран может дать лишь локальные результаты и в целом является недостаточным. Для ограничения крупномасштабных негативных воздействий на природу требуются совместные серьезные усилия многих стран в области научных и инженерных разработок. Поэтому проблема охраны окружающей среды приобрела международный характер.

Техногенную нагрузку \* и ее отрицательное влияние на окружающую среду можно существенно уменьшить, но не путем ограничения численности населения, свертывания промышленного и сельскохозяйственного производства, т. е. не в результате сдерживания научно-технического прогресса, как это предлагается некоторыми учеными капиталистических стран, а на основе регулирования и оптимизации отношений человеческого общества с природой, что, в свою очередь, должно быть обеспечено рациональным использованием и воспроизводством природных ресурсов. В СССР принимаются необходимые меры для охраны земли и ее недр, водных ресурсов, чистоты воздуха, растительного и животного мира. Принципы социалистического отношения к природе отражены в Конституции.

**Проблема воды на Земле.** Водные ресурсы — один из основных компонентов окружающей среды и природных богатств, при этом, пожалуй, самый мобильный компонент, легко и раньше других подвергающийся антропогенному воздействию. Многие страны мира, прежде всего в аридной зоне, ощущают дефицит воды, пригодной для повседневных нужд. Быстрый рост водопотребления при неравномерном распределении водных ресурсов по площади и сезонам года уже привел к дефициту чистых пресных вод даже в странах, богатых водными ресурсами. Водный фактор начинает сдерживать промышленное и сельскохозяйственное производство. Обеспечение чистой пресной водой, охрана ее от истощения и загрязнения, воспроизводство водных ресурсов — таковы аспекты водной проблемы на Земле.

Еще несколько десятилетий тому назад люди считали водные ресурсы неисчерпаемыми. Во второй половине XX в. положение изменилось. Увеличение народонаселения, стремительное развитие промышленности и сельского хозяйства, появление небывалого количества стоков, требующих разбавления, резко повысили потребность в воде. Между тем ресурсы чистой пресной воды сокращаются.

Источники водоснабжения (реки, озера, подземные резервуары и т. д.) одновременно используются для сброса сточных вод, поэтому основную угрозу ресурсам чистой воды представляет загрязнение: 1 м<sup>3</sup> сточных вод загрязняет в десятки раз больше чистой воды! Сброс токсичных веществ, особенно ядов, в наибольшей степени затрудняет самоочищение природных вод. Загрязнение — основная причина истощения ресурсов пресных вод, пригодных для целей водоснабжения.

В индустриально развитых странах загрязнения водотоков и водоемов принимают ужасающие размеры. Главнейшие системы рек США загрязнены; огромным коллектором стоков и отходов стала основная река страны Миссисипи. Отдельные реки Западной Европы наполовину содержат сточные воды. Так, Рейн — некогда символ красоты и чистоты — представляет собой грязный поток, покрытый пленкой нефтепродуктов. Загрязнение распространяется на моря и начинает проникать далеко в океан. Самоочищающая способность океанической воды оказывается недостаточной. Ведь в океан ежегодно сбрасывается несколько миллионов тонн нефти, тысячи тонн радиоактивных отходов и т. д.

\* Под техногенной нагрузкой, или антропогенным влиянием (воздействием), понимают комплекс процессов, вызванных производственной деятельностью человека и приводящих к изменениям природной обстановки. По отношению к среде обитания человека изменения эти могут иметь как негативный, так и позитивный характер.

## Изменение структуры водопотребления в мире [Соколов, Шикломанов, 1977]

Водопотребители	1900 г.		1970 г.		Прогноз на 2000 г.	
	км <sup>3</sup>	%	км <sup>3</sup>	%	км <sup>3</sup>	%
Население	20	5	120	5	440	7
	5	2	20	1	65	2
Промышленность	30	8	510	20	1900	32
	2	1	20	1	70	2
Сельское хозяйство	350	88	1900	73	3400	58
	260	96	1500	94	2600	87
Водохранилища	0	0	70	3	240	4
	0	0	70	4	240	8
Всего . . . . .	400	100	2600	100	6000	100
	270	100	1600	100	3000	100

Примечание. В числителе — полное, в знаменателе — безвозвратное водопотребление.

Вредные вещества просачиваются в почву и попадают в подземные воды. Один из источников загрязнения — внесение удобрений в почву и опыление сельскохозяйственных культур ядохимикатами, что приводит к отравлению обширных площадей подземных вод. Еще больше воздействие сбрасываемых под землю бытовых и промышленных стоков. Поэтому почти во всех крупных городах мира и индустриальных центрах (США, Западная Европа, Япония и даже развивающиеся страны) приходят в негодность верхние водоносные горизонты — грунтовые воды. На этом вопросе в дальнейшем мы остановимся специально.

В итоге на земном шаре к началу 70-х годов XX в. по ориентировочной оценке оказалась загрязненной почти 1/6 водных ресурсов [Коронкевич, 1972].

Другая причина истощения — неразумная, а подчас, прямо скажем, хищническая эксплуатация водных ресурсов. Велики потери воды при водоснабжении (более 20% от водозабора) и орошении (свыше 70%). Чрезмерный водоотбор особенно вредно влияет на подземные воды. Во многих районах систематическое снижение их уровня местами вызывает полное истощение водоносных горизонтов с пресной водой.

Характерная черта современности — бурно увеличивающаяся потребность в пресной воде (табл. 1.1), опережающая темп прироста населения и развития производства. В США водопотребление с 1900 г. к началу 60-х годов возросло в шесть раз, тогда как население только удвоилось. Уже сейчас там используют почти все наличные ресурсы чистой пресной воды. Аналогичен рост в СССР: до революции потреблялось воды 45 км<sup>3</sup> в год, в 1940 г. — 80, в 1960 г. — 155, в 1970 г. — 230 и в 1975—1980 гг. — 300 км<sup>3</sup>. Увеличение водопотребления почти в 2 раза за последние 20 лет обеспечило улучшение жилищно-бытовых условий советских людей и рост уровня нашей экономики. В перспективе к 2000 г. водозабор в СССР должен достигнуть 620 км<sup>3</sup> в год (табл. 1.2).

Разрыв между потребностями в чистой воде и ее наличными ресурсами все время уменьшается. На земном шаре годовое количество сточных вод оценивается в 450—470 км<sup>3</sup>. Согласно расчету М. И. Львовича [1969, 1974], для разбавления этого количества стоков расходовалось 5500 км<sup>3</sup> чистой воды, а мировой водозабор составлял 3600 км<sup>3</sup> (в том числе на нужды орошаемого земледелия 2800 км<sup>3</sup>). Что же будет в начале XXI века, когда население земли увеличится до 6—7 млрд. чел. и в несколько раз возрастет промышленное производство? При современных методах ведения водного хозяйства количество сточных вод превысит 6 тыс. км<sup>3</sup>/год. На их обезвреживание потребуется затратить весь объем поверхностного и подземного стока. С этим и связано мнение о якобы неизбежном «вод-

Таблица 1.2

Годовое водопотребление в СССР, км<sup>3</sup> [Коронкевич, 1972]

Водопотребители	Водо-забор	Безвоз-вратный расход	Сточные и возвратные воды	Расход чистой воды на обезвреживание
<i>Состояние в 1970 г.</i>				
Население	20	12	8	80
Промышленность и теплоэнергетика	55	12	43	570
Орошаемое земледелие	145	115	30	60
Прочие	10	2	8	—
<b>Всего (с округлением)</b>	<b>230</b>	<b>140</b>	<b>90</b>	<b>710</b>
<i>В перспективе (2000 г.)</i>				
Население	68	19	13	90
Промышленность и теплоэнергетика	193	102	93	310
Орошаемое земледелие	265	273	24	293
Прочие	100	20	80	20
<b>Всего (с округлением)</b>	<b>620</b>	<b>410</b>	<b>210</b>	<b>720</b>

ном голоде», который может наступить уже в конце текущего столетия. Ресурсы пресной воды на земле не так уж малы, правильнее говорить об *ограниченности водных ресурсов*. Для решения проблемы дефицита пресных вод на земле необходимо: во-первых, бережно относиться к имеющимся водным ресурсам, охранять их от загрязнения и истощения; во-вторых, искать новые источники пресных вод; в-третьих, интенсифицировать эксплуатацию подземных вод (например, на основе их искусственного пополнения).

Проблема чистой воды — одна из главнейших в комплексе природоохраных мероприятий. В середине XX в. охватившая мир научно-техническая революция вывела эту проблему на глобальный уровень. Современный кризис окружающей среды, конечно, имеет в основе не только научно-технический прогресс. Причина возникновения водной проблемы вызвана бурным экономическим развитием (прежде всего, невиданным ранее антропогенным воздействием), демографическим взрывом, и, кроме того, и социальными причинами, способом ведения хозяйства.

Плановая экономика предусматривает меры по охране водных ресурсов от загрязнения и истощения. Социалистические государства успешно практикуют рассчитанные на дальнюю перспективу мероприятия по защите всех природных ресурсов, в том числе и воды. В СССР охрана и использование водных ресурсов регламентируются «*Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик*» (с 1971 г.), а также водными кодексами союзных республик. В 1976—1980 гг. по сравнению с предшествующей пятилеткой ассигнования на строительство водоочистных и других водохозяйственных сооружений возросли более чем в 2,5 раза. И прогресс налицо. Начали очищаться многие реки, очистные сооружения строятся в волжских городах — Горьком, Казани, Куйбышеве, Саратове и др., эффективно очищаются отработанные воды в бассейне Байкала и т. д. Все это говорит о том, что защита водных ресурсов — неустанная забота нашего государства.

Всего на природоохранные мероприятия за 1981—1985 гг. будет истрачено в СССР 26 млрд. руб. государственных капитальных вложений, включая сюда и ведомственные ассигнования. Это значительно больше, чем в предыдущую пятилетку.

Определенные успехи в охране водных ресурсов достигнуты как в социалистических, так и в капиталистических странах. Однако есть и исключения. Обратимся снова к примеру США. Ущерб от загрязнения

водоемов там оценивается в 7,5—11 миллиардов долларов в год. Несколько лет назад конгрессом этой богатейшей страны мира был принят законопроект, уполномочивающий правительство выделить около 25 млрд. дол. на борьбу с загрязнением природных вод. Однако реализация столь дорогостоящей и долгосрочной программы оказалась под угрозой. Погоня за прибылью вступила в противоречие с интересами общества: экономически более выгодным считается импортировать чистую воду с Аляски и Канады, чем очищать собственные водотоки и водоемы.

**Пути решения водной проблемы.** В недалеком будущем наряду с традиционными источниками водоснабжения (реки, пресные озера и подземные резервуары), человечество будет использовать иные пути получения пресной воды. Называют, в частности, льды полярных областей; очень большие надежды ученые Запада связывают с опреснением морской воды. Однако транспортировка льдов из Арктики или Антарктики и их утилизация технически настолько сложны, что ни один проект не признан рентабельным. Опреснение морской воды используется достаточно широко и у нас (на Магышлаке), и за рубежом (например, в Кувейте), однако даже специалисты не решаются гарантировать замену традиционных способов водоснабжения опресненной водой, хотя там, где нет иных водисточников, опреснение — экономически наиболее приемлемый путь получения питьевой воды.

Советские ученые считают необходимым кардинальный пересмотр бытующих взглядов на использование и охрану водных ресурсов. Чтобы избежать кризисного положения, которое наблюдается с водой в США и Западной Европе, а в перспективе ожидает и другие районы земного шара, следует немедленно приступить к решению водной проблемы. Основные мероприятия заключаются во всемерном сокращении сброса сточных вод в реки, озера и подземные резервуары, а также в преобразовании водного баланса суши [Львович, 1969, 1974; Коронкевич, 1972]. Охрана водных ресурсов в процессе их рационального использования — таков путь предотвращения «водного голода» на Земле.

Повсеместное сокращение, а в перспективе прекращение сброса сточных вод в реки — дорогостоящая, но вполне реальная мера. Более того, в условиях планового и координируемого хозяйства социалистических стран она со временем сулит экономическую выгоду. Хотя того или нет, но к этой мере должны подойти и капиталистические страны. И надо отдать должное ученым и специалистам США, Франции, ФРГ и других стран, которые ставят вопрос о полном прекращении сброса стоков в реки и другие водные резервуары.

Наиболее радикальное средство заключается в устройстве замкнутых циклов водоснабжения промышленных предприятий с тем, чтобы сточные воды не возвращались в водоемы. Уже сейчас в СССР безвозвратное изъятие воды достигает более половины водозабора (см. табл. 1.2). Тем не менее определенная часть сточных вод потребует утилизации. Особо вредные стоки необходимо подвергать подземному захоронению, естественному или искусственному выпариванию с предварительной регенерацией. Стоимость выпаривания может быть снижена, если она будет сопровождаться выработкой пара, а также улавливанием растворенных веществ. На Рязанском заводе химического волокна путем регенерации стоков в осадительных ваннах исключен сброс многих тонн сульфата натрия, серной кислоты и т. д. Полученная экономия превысила здесь миллион рублей в год.

Большое количество сточных вод после использования в хозяйственно-питьевых и промышленных целях должно переводиться на орошение полей. Еще В. И. Ленин [Полн. собр. соч., т. 5, с. 152], имея в виду сточные воды, указывал, что «...нерационально выбрасывать естественные удобрения понапрасну, отравляя притом нечистотами реки... Около больших городов и сейчас существуют поля орошения, утилизирующие городские нечистоты с громадной пользой для земледелия, — но утилизируется таким образом только ничтожная доля нечистот». Использование сточных

вод для орошения позволяет, во-первых, снизить водозабор из рек, озер и подземных резервуаров, во-вторых, осуществить эффективную очистку, так как почвенные методы обезвреживания стоков благодаря обилию микроорганизмов относятся к наиболее совершенным, и, в-третьих, сильно повысить продуктивность сельскохозяйственных угодий. Урожаи на таких полях орошения в несколько раз выше урожаев с неорошаемых земель, поэтому затраты по утилизации сточных вод подобным способом окупаются через 4—5 лет.

Рационально часть коммунально-бытовых стоков после очистки повторно использовать в промышленности и термоэнергетике. В некоторых индустриальных центрах ГДР из очистных систем они идут сначала на технологические цели, а затем употребляются для охлаждения. В СССР замкнутая система водоснабжения с использованием всех сточных вод начинает действовать в Челябинском промышленном районе. Например, на Львовской картонной фабрике полностью исключен сброс промышленных стоков и в три раза сокращено потребление свежей воды; здесь на очистных сооружениях улавливается и возвращается в производство за год до 400 т волокна, ранее загрязнявшего реку.

К сожалению, как отмечалось на XXVI съезде КПСС, у нас в деле защиты водных ресурсов есть и недостатки. Среди них — отставание с вводом в строй водоочистных сооружений и порочная практика их строительства после пуска в эксплуатацию предприятий, вырабатывающих промышленные стоки. Важно всем предприятиям иметь научно обоснованные разработки предельно допустимых концентраций (ПДК) и норм сброса сточных вод.

Для осуществления мер по борьбе с загрязнением водных ресурсов потребуется время. Вероятно, и к 2000 г. часть сточных вод будет попадать в реки, например, в малонаселенных районах или там, где самоочищающая способность весьма велика, т. е. степень загрязнения далека от предельно допустимых концентраций. Однако в обжитых районах все сточные воды должны очищаться. Более того, уже в течение 1975—1980 гг. многие предприятия перешли на технологию безотходного производства. К 1985 г. планируется полностью прекратить сброс вредных стоков в водоемы бассейнов.

В табл. 1.2 дан ориентировочный прогноз расходования водных ресурсов в СССР на начало XXI в. Автор прогноза Н. И. Коронкевич исходит из резкого сокращения сброса сточных вод в реки и поверхностные водоемы, возможного при осуществлении рассмотренных мероприятий по рациональному использованию воды в народном хозяйстве. По сравнению с потреблением воды в 1970 г. водозабор к началу XXI века возрастет в 2,5 раза, а безвозвратный расход — в 3,3 раза. Объем сточных вод хотя и повысится, но вследствие предварительной очистки расход чистой воды на их обезвреживание не возрастет. Сброс будет проводиться только в водоемы с высокой самоочищающей способностью (в реки малообжитых районов или некоторые моря) и глубокие горизонты подземных вод. В перспективе же надо стремиться к максимально возможной утилизации сточных вод и прекращению их сброса в водотоки и водоемы.

Огромные возможности таятся в экономии воды. Где можно, следует добиваться снижения водопотребления в промышленности и коммунальном хозяйстве (перевод производства на «сухую» или безотходную технологию, своевременный ремонт водопроводной сети, устройство автономных водопроводов для питьевого и технического водоснабжения).

Важной мерой является повышение платы за расходование воды. Опыт таких стран, как Чехословакия, показывает, что введение контроля за количеством потребляемой воды в коммунальном хозяйстве уменьшило объем и соответственно сброс сточных вод в 2—3 раза. В СССР вода отпускается промышленным и другим предприятиям по ее себестоимости или по неоправданно низкой цене. Как показали расчеты Государственной водной инспекции по охране водных источников Министерства мелиора-

## Ориентировочный прогноз преобразования водного баланса земного шара [Львович, 1969, 1974]

Элементы баланса	Годовой объем, км <sup>3</sup>		Характер преобразований
	современный	преобразованный	
Осадки	110 300	110 300	
Полный речной сток	38 800	37 500	Перевод 700 км <sup>3</sup> паводочных вод в ресурсы почвенной влаги, увеличение испарения с водохранилищ и в лесах на 600 км <sup>3</sup>
А. Устойчивый сток	14 000	22 500	Увеличение устойчивого стока на 8500 км <sup>3</sup> путем: а) магистинирования 5000 км <sup>3</sup> подземных вод; б) регулирования 3500 км <sup>3</sup> паводочных вод водохранилищами
подземный сток в реки и возобновляемые запасы подземных вод			
Б. Поверхностный сток	26 800	20 500	Использование 6300 км <sup>3</sup> поверхностного стока, в том числе 1300 км <sup>3</sup> на задержание в почве и на рост испарения и 5000 км <sup>3</sup> для магистинирования подземных вод
Валовое увлажнение территории	83 500	89 800	Увеличение на 6300 км <sup>3</sup> за счет дополнительного увлажнения неорошаемых земель и роста испарения (1300 км <sup>3</sup> ), а также за счет магистинирования подземных вод (5000 км <sup>3</sup> )
Испарение	71 500	72 800	Увеличение на 1300 км <sup>3</sup> за счет повышения урожайности и роста испарения с водохранилищ.

ции и водного хозяйства СССР, 1 м<sup>3</sup> воды в Москве стоит 4 коп., и лишь при перерасходе его стоимость возрастает до 20 коп., а в некоторых других районах страны — 65 коп. Низкая плата за воду не способствует хозяйственному использованию водных ресурсов и даже не компенсирует в ряде случаев государственных затрат на водоснабжение.

Особенно много лишней воды расходуется при орошении. Если это положение изменится, то водозабор будет снижен по крайней мере на 1/4.

Помимо охраны и экономии водных ресурсов важным вкладом в решение водной проблемы должно стать преобразование водного баланса суши, заключающееся в управлении круговоротом воды в природе. Цель такого управления — добиться умножения наиболее доступных видов водных ресурсов, включающих так называемый устойчивый сток (т. е. подземный и зарегулированный водохранилищами) и запасы почвенной влаги, за счет менее ценного, речного (преимущественно паводочного) стока. Сюда же входит обеспечение водой засушливых районов путем переброса водных ресурсов из районов, богатых водой (например, переброс стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию).

Ориентировочный прогноз преобразования водного баланса земного шара показан в табл. 1.3. Основными его элементами являются искусственное пополнение (магистинирование) подземных вод, а также регулирование речного стока гидротехническими сооружениями и увеличение запасов почвенной влаги. Последние из названных мероприятий, естественно, приведут к некоторому росту испарения, что показывает преимущество магистинирования подземных вод по сравнению с регулированием поверхностного стока.

Наряду с преобразованием круговорота воды в природе водные ресурсы, пригодные для водоснабжения, будут увеличены за счет опреснения минерализованных (морских и подземных) вод, таяния ледников и т. д. В целом рост водопотребления окажет положительное влияние на

внутриконтинентальный влагооборот, усиливая его интенсивность и увеличивая ресурсы пресной воды земного шара.

В развитых социалистических и капиталистических странах уже проводятся мероприятия по охране и рациональному использованию водных ресурсов. Особенно большие работы осуществляются в СССР. Это — устройство замкнутых (безотходных) циклов водоснабжения и строительство очистных сооружений, на которые ежегодно затрачиваются миллионы рублей (например, на Байкале и в упомянутых волжских городах), сооружение каналов в Каракумах, Северном Казахстане, на Южной Украине и многие другие мероприятия. Недостаток в пресной воде ощущается далеко не так сильно, как в США и Западной Европе, но преобразование водного баланса территории СССР предусматривает резкое увеличение устойчивого стока, при этом безвозвратный сток к 2000 г. составит менее 25% устойчивого [Коронкевич, 1972].

Научный, технический и социальный прогресс позволяет надеяться на повсеместное решение водной проблемы в обозримой перспективе. Как ни сложны намеченные мероприятия, выполнение их, по выражению М. И. Львовича [1969], решает одну из важнейших проблем человечества, поэтому любые усилия в этом направлении будут оправданы.

Для охраны и рационального использования водных ресурсов важное значение имеет международное сотрудничество. Оно диктуется жизнью, ибо отдельным странам просто невозможно самим комплексно решать водную проблему. Изучение водных ресурсов земного шара, вопросы их охраны и рационального использования в будущем — задачи, которым было посвящено Международное гидрологическое десятилетие (МГД) 1965—1974 гг. Десятилетие 1981—1990 гг. по инициативе ООН объявлено Международным десятилетием питьевой воды (МДПВ); его цель — обеспечение всего населения земного шара чистой пресной водой.

Важное место в международных мероприятиях отводится охране подземных вод от загрязнения и истощения. Этой проблеме в 1974 г. был посвящен специальный конгресс Международной ассоциации гидрогеологов, состоявшийся в г. Монпелье (Франция), а в 1980 г. аналогичный симпозиум в Ташкенте (СССР) провели ЮНЕП и ЮНЕСКО. Пресные подземные воды — наиболее ценная часть водных ресурсов. Во многих районах это единственный источник хозяйственно-питьевого водоснабжения или мелиорации.

## ЛИТЕРАТУРА

- Коронкевич Н. И. Преобразование водного баланса в СССР. М.: Знание, 1972. 47 с.
- Львович М. И. Водный голод может быть предотвращен. — В кн.: Водный голод планеты. М.: Знание, 1969, с. 38—47.
- Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 447 с.
- Соколов А. А., Шикломанов И. А. Современное состояние и будущее водных ресурсов мира. — В кн.: Водные ресурсы и окружающая среда. М.: Изд. Моск. ун-та, 1977, с. 13—32.

## 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

### 2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Хозяйственная деятельность человека издавна основывалась на использовании преимущественно поверхностных вод. Однако это не исключало также потребления подземных вод, причем первоначально за счет подземных вод компенсировался, как правило, дефицит водоснабжения.

Таблица 2.1

## Классификация подземных вод по степени минерализации

Воды по степени минерализации	Минерализация	
	г/л	г/кг
Пресные		
ультрапресные	<0,1	<0,1
умеренно	0,1—0,5	0,1—0,5
нормально	0,5—1,0	0,5—1,0
Солоноватые		
слабо	1,0—3,0	1,0—3,0
средне	3,0—5,0	3,0—5,0
сильно	5,0—10,0	5,0—10,0
Соленые		
слабо	10,1—25,4	10,0—25,0
сильно	25,4—36,0	25,0—35,0
Рассолы		
слабые	36,0—150,0	35,0—135,0
крепкие	150,0—320,0	135,0—265,0
весьма крепкие	320,0—500,0	265,0—370,0
предельно насыщенные	>500,0	>370,0

Примечание. Таблица составлена на основе классификаций И. К. Зайцева, Н. И. Толстихина [1972], Ж. С. Сыдыкова, К. М. Давлетгалиевой [1974]; Е. В. Пиннекера [1966] с некоторыми изменениями.

Со временем стало учитываться более высокое качество подземных вод по сравнению с поверхностными.

Особенно широкое использование подземных вод началось во второй половине XX в. Это обусловлено многими причинами, главная из которых в том, что поверхностные воды легко загрязняются.

Подземные воды — наиболее дефицитная часть водных ресурсов, поэтому в настоящее время их используют преимущественно для питья, что, в частности в СССР, отражено в законодательстве. Эти воды играют важную роль в регулировании физиологических процессов в организме человека; они составляют около 65% его веса.

Запросы практики обусловили необходимость классификации подземных вод. Наиболее ранние классификации были сделаны Ч. Пальмером, Ш. Роджерсом, М. Г. Курловым, В. И. Вернадским, Н. Н. Славяновым и др.; из более поздних представляют интерес работы О. А. Алекина [1946], который выделяет три больших класса природных вод: 1) гидрокарбонатные и карбонатные, 2) сульфатные и 3) хлоридные. И. К. Зайцев [1961] построил классификацию подземных вод, основанную на различиях концентрации солей. В дальнейшем разрабатываются более развернутые классификации с учетом изменения соленасыщенности подземных вод с глубиной [Пиннекер, 1966; Зайцев, Толстихин, 1972; Сыдыков, Давлетгалиева, 1974]. Пример такой классификации (с некоторыми изменениями и уточнениями терминологии) представлен в табл. 2.1. Граничные величины степени минерализации вод увязываются с региональными гидрогеохимическими закономерностями и конкретными практическими запросами. Так, при использовании подземных вод для водоснабжения рекомендуется выделять несколько групп: 1) ультрапресные с минерализацией до 0,1 г/л — воды первого этапа метаморфизации атмосферных осадков с преобладанием  $\text{SiO}_2$  над гидрокарбонатами кальция; 2) умеренно пресные с минерализацией 0,1—0,5 г/л — дальнейшая стадия преобразования солевого состава вод, в них появляются гидрокарбонаты натрия и кальция, в некоторых количествах сульфаты и хлориды щелочных и щелочноземельных элементов; 3) нормально пресные воды с минерализацией от 0,5 до 1 г/л, в их составе возрастает роль сульфат- и хлоридов.

В некоторых районах мира ощущается острый недостаток пресных подземных вод. В связи с этим для питьевого водоснабжения, а в некоторых случаях и для других хозяйственных нужд используются солонова-

тые и слабосоленые подземные воды с минерализацией до 3—5 г/л, а во многих странах и выше (до 16,5 г/л в США). В аридных областях воды этой категории при минерализации до 5 г/л применяются для водопоя лошадей, до 8 г/л — верблюдов, до 12 г/л — каракулевых овец.

Понятно, что в зависимости от решаемых задач в каждом конкретном случае возможна детализация рекомендаций по использованию подземных вод различной степени соленасыщенности.

## 2.2. РЕСУРСЫ ПРЕСНЫХ И СОЛОНОВАТЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Общие запасы пресных вод на нашей планете огромны — около 30 млн. км<sup>3</sup> [Мировой водный баланс..., 1974]. Количество их в атмосфере, на поверхности Земли и в ее недрах различается достаточно существенно (табл. 2.2).

Не все пресные воды одинаково легко доступны, большая часть (3/4 общего количества) их мировых запасов сосредоточена в высокогорных ледниках и полярных льдах Арктики и Антарктики, где население почти отсутствует. На огромной территории Азии, Северной Америки и частично на севере Европы под влиянием сурового климата сформировалась мощная (до 1000 м и более) толща многолетнемерзлых пород, вследствие чего колоссальные ресурсы пресных подземных вод переведены из жидкого состояния в твердое и выведены из глобального водообмена. Пресные подземные воды (жидкая фаза) распространены здесь спорадически (рис. 2.1). Модуль подземного стока характеризуется долями литров в секунду с 1 км<sup>2</sup>, а на отдельных участках подземный сток полностью отсутствует.

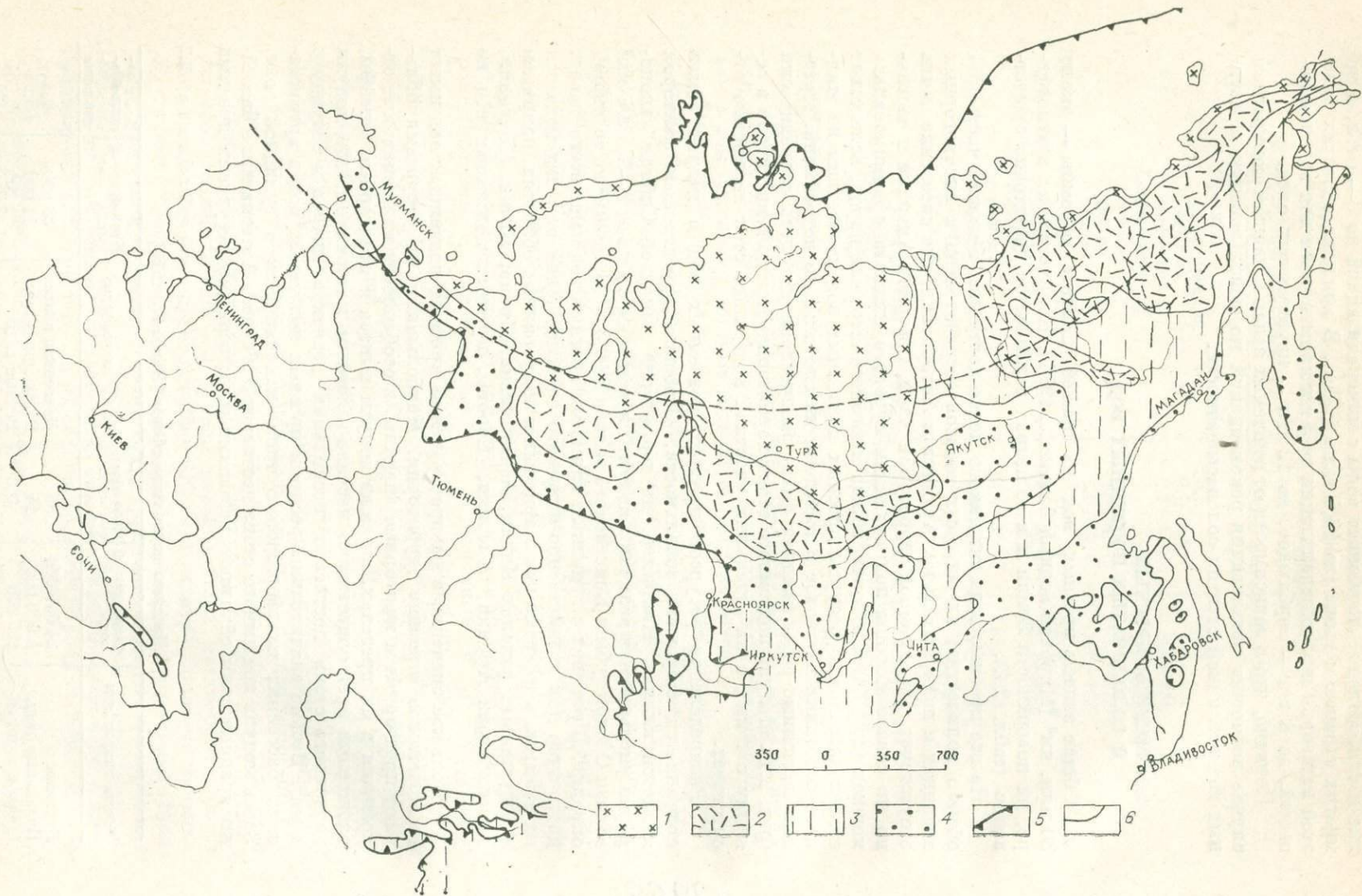
Распределение ресурсов пресных подземных вод в недрах земли подчиняется широтной зональности. Особенно эффективным фактором является климат. Например, на территории Западной Сибири закономерно уменьшаются величины модулей подземного стока от 3—2,5 л/с·км<sup>2</sup> вблизи Обской губы и Енисейского залива до 0,5—0,3 л/с·км<sup>2</sup> на ее южной окраине. В районах с гумидным климатом пресных вод чаще всего бывает достаточно для хозяйственно-питьевого водоснабжения или наблюдается их избыток, в то время как в аридных и полуаридных областях, например в засушливых районах Индии, Афганистана, Ирана, Китая, Монголии, многих стран Африки, Америки, Европы, пресных подземных вод не хватает.

Большое значение в распространении пресных подземных вод имеет геологическое строение территории. Наибольшими их ресурсами обладают предгорные и межгорные впадины, в особенности аллювиальные отложения в их пределах, а также конусы выноса и предгорные шлейфы, сложенные преимущественно песчано-галечным материалом, где модули подземного стока достигают нескольких десятков литров в секунду с 1 км<sup>2</sup>. Весьма значительны ресурсы пресных подземных вод в артезианских бассейнах платформенного типа, находящихся в гумидной зоне. Здесь модуль подземного стока достигает 3 л/с·км<sup>2</sup>. Артезианские бассейны аридной зоны обладают меньшими естественными ресурсами пресных

Таблица 2.2

Пресные воды гидросферы [Львович, 1974]

Часть гидросферы	Объем пресной воды, км <sup>3</sup>	% от общего объема пресной воды	Часть гидросферы	Объем пресной воды, км <sup>3</sup>	% от общего объема пресной воды
Ледники	24 000 000	85	Почвенная влага	83 000	0,3
Подземные воды	4 000 000	14	Пары атмосферы	14 000	0,05
Озера и водохранилища	155 000	0,6	Речные воды	1 200	0,004



Ресурсы пресных подземных вод СССР, м<sup>3</sup>/с [Плотников, 1976]

Республика	Естественные	Прогнозные эксплуатационные	Республика	Естественные	Прогнозные эксплуатационные
РСФСР	25 000	5700	Молдавия	10	8
Украина	3 600	500	Узбекистан	1 200	920
Белоруссия	420	512	Киргизия	1 800	630
Казахстан	2 400	1480	Таджикистан	700	130
Грузия	620	50	Армения	150	50
Азербайджан	90	424	Туркмения	5	25
Литва	130	30			
Латвия	140	70			
Эстония	120	70			
			Всего . . . .	36 085	40 299

подземных вод. Правда, известны и исключения: огромный район Восточной Сахары характеризуется значительными количествами этих вод — около 15 тыс. км<sup>3</sup>.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения одинаково большое значение имеет знание как естественных, так и эксплуатационных ресурсов подземных вод (см. Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика). Естественные ресурсы подземных вод в нашей стране были подсчитаны в середине 60-х годов. Средняя многолетняя величина их составляет более 30 тыс. м<sup>3</sup>/с, что соответствует ~24% речного стока, или ~9% атмосферных осадков, выпадающих на поверхность Земли. В среднем на подземный сток земного шара приходится 35% всех ресурсов пресной воды.

Региональная оценка естественных ресурсов подземных вод на территории СССР достаточно полно отражена на карте подземного стока СССР (рис. 2.2). Величина модуля подземного стока в нашей стране колеблется от десятых долей в засушливой зоне до 2,5—3 л/с·км<sup>2</sup> на северо-западе европейской части; наибольшие ее значения установлены в крайних восточных областях (5—20 л/с·км<sup>2</sup>).

Существенно изменяется распределение естественных ресурсов подземных вод по союзным республикам (табл. 2.3). Небезынтересны и приближенные результаты расчетов ресурсов пресных подземных вод некоторых стран мира (табл. 2.4).

Прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод Советского Союза оценены территориальными геологическими управлениями под научно-методическим руководством ВСЕГИНГЕО (см. табл. 2.3). В томе «Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика» [1982] уже отмечалось, что распределение их неравномерное. В региональном плане оно подчиняется примерно тем же закономерностям, что и распределение естественных ресурсов подземных вод. И действительно, модуль эксплуатационных ресурсов, например в пределах европейской части СССР, с 2—3 л/с·км<sup>2</sup> в Белоруссии уменьшается до 0,5 л/с·км<sup>2</sup> в Нижнем Поволжье.

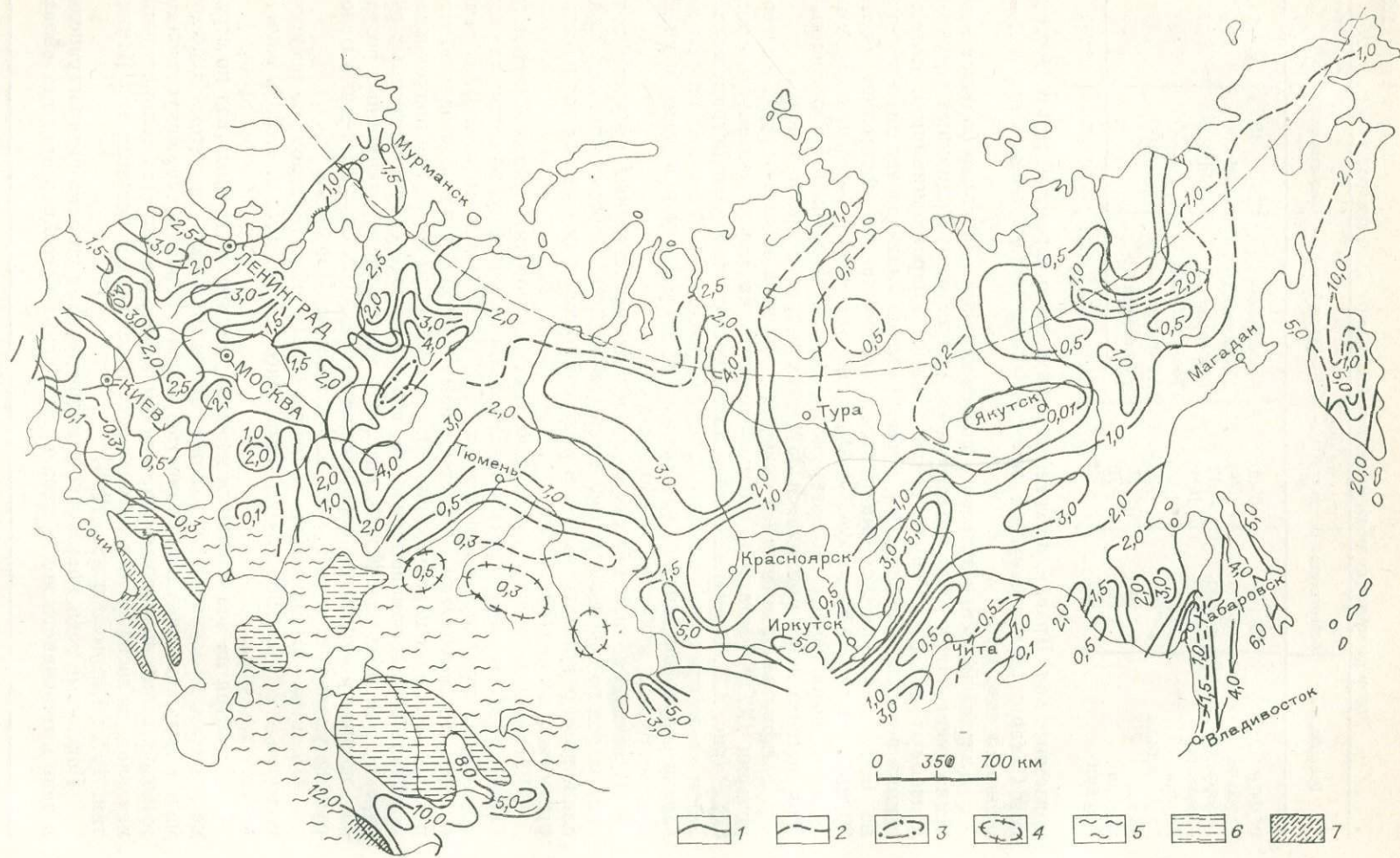
По оценке Министерства геологии СССР, эксплуатационные ресурсы подземных вод на 1980 г. составили более 40 тыс. м<sup>3</sup>/с, т. е. 30% естественных ресурсов.

Несмотря на значительный избыток пресных подземных вод по стране в целом, в засушливых районах ощущается их недостаток. Дефицит может быть сокращен или полностью ликвидирован за счет искусственного восполнения подземных вод, а также использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения солоноватых и соленых подземных вод [Никитин, 1975; Никитин и др., 1978].

Подземные воды повышенной минерализации широко распространены в зоне интенсивного водообмена артезианских бассейнов аридных облас-

Рис. 2.1. Схема перспективности использования природных вод для водоснабжения на территории криолитозоны СССР (по С. М. Фотиеву).

1 — ограниченно-перспективные; 2 — слабоперспективные; 3 — относительно перспективные; 4 — перспективные. Границы: 5 — криолитозон; 6 — районов.



Ресурсы пресных подземных вод некоторых стран мира [Львович, 1974]

Континенты, страны	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Сток подземных вод в реки, м <sup>3</sup> /с	Континенты, страны	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Сток подземных вод в реки, м <sup>3</sup> /с
Европа	9 770	37 500	Африка		
В том числе			В том числе:		
Швеция	450	2 000	Алжир	2 380	220
Франция	547	2 950	Судан	2 510	640
Великобритания	244	1 860	Эфиопия	1 220	1 400
Югославия	256	1 500	Мозамбик	780	540
ФРГ	248	1 300	Ангола	1 250	2 300
Чехословакия	128	400	Северная Америка	20 100	48 400
Венгрия	93	130	В том числе		
Польша	313	900	Канада	8 700	23 000
Азия	44 600	108 200	США	9 400	21 000
В том числе			Южная Америка	17 810	118 700
КНР (с островами)	9 600	30 000	В том числе		
Афганистан	650	920	Аргентина	2 780	4 000
Иран	1 650	2 100	Бразилия	8 510	59 800
Турция	800	1 900	Австралия	7 600	1 200
Индия	3 270	11 900			

Таблица 2.5

Потенциальные эксплуатационные ресурсы подземных вод повышенной минерализации СССР [Никитин и др., 1978]

Район	Эксплуатационные ресурсы		Район	Эксплуатационные ресурсы	
	м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /год		м <sup>3</sup> /с	км <sup>3</sup> /год
РСФСР			Казахстан	1124	35 872
южные районы европейской части	165	5 280	Туркмения	925	29 600
южные районы Сибири	348	11 136	Узбекистан	444	14 208
Молдавия	5	160			
Украина (южные районы)	89	2 848	Итого . . . .	3057	99 104

тей, где они формируются главным образом под влиянием испарительной концентрации, пополняясь за счет инфильтрации атмосферных осадков, потерь поверхностного стока, оросительных систем, а также разгрузки напорных подземных вод глубоких горизонтов. Воды повышенной минерализации часто встречаются и в области распространения многолетнемерзлых пород на платформах, где они обычно залегают в зонах затрудненного или весьма затрудненного водообмена.

Общие естественные (геологические) запасы соленоватых и соленых вод на территории СССР оцениваются в 0,6 млн. км<sup>3</sup>. На долю платформенных артезианских бассейнов приходится около 94% этих запасов, межгорных — около 6% и гидрогеологических массивов — доли процента. М. Р. Никитиным с сотрудниками [1978] сделана оценка потенциальных эксплуатационных ресурсов этих вод в наиболее засушливых южных районах (рис. 2.3) и по нашей стране в целом (табл. 2.5).

Рост использования ресурсов пресных подземных вод зависит от региональных закономерностей их распространения. Так, в США на долю подземных вод приходится около 20% всей потребляемой воды, в ФРГ и Нидерландах — 75, Бельгии — 90, в Дании — около 100% [Новиков,

Рис. 2.2. Распределение подземного стока в реки, л/с·км<sup>2</sup>. Составлено МГУ, ГГИ, ВСЕГИНГЕО под ред. Б. И. Куделина [Давыдов и др., 1973].

1 — изолинии модулей подземного стока; 2 — то же, рассчитанные приближенно; 3 — участки формирования подземного стока по влиянием карста; 4 — территории, для которых подземный сток рассчитан по водному балансу озер; 5 — области спорадического распространения пресных грунтовых вод; 6 — области распространения грунтовых вод с пестрой минерализацией и наличием стока пресных артезианских вод; 7 — области с колебанием стока в больших пределах.



## Требования, предъявляемые в СССР к содержанию химических веществ в питьевой воде

Вещество	Нормы, мг/л	Методы испытаний по ГОСТам	Вещество	Нормы, мг/л	Методы испытаний по ГОСТам
Бериллий	0,0002	18294—72	Стронций-90	$4,0 \cdot 10^{-10}$ Ки/л	18913—73
Молибден	0,5	18308—72	Сухой остаток	1000	18164—72
Мышьяк	0,05	4152—72	Хлориды	350	4245—72
Нитраты	10,0	18826—73	Сульфаты	500	4389—72
Полиакриламид	2,0	—	Железо ( $Fe^{2+}$ , $3+$ )	0,3	4011—72
Свинец	0,1	18293—72	Марганец	0,1	4974—72
Селен	0,001	—	Медь	1,0	4388—72
Стронций	2,0	—	Цинк	5,0	18293—72
Фтор	0,7—1,5	4386—72	Остаточный алюминий	0,5	18165—72
Уран	1,7	18921—73	Гексаметафосфат	3,5	18309—72
Радий-226	$1,2 \cdot 10^{-10}$ Ки/л	18912—73	Триполифосфат	3,5	18309—72

ных. Кишечная палочка (бактерия Коли) безвредна для здоровья. Высокое ее содержание в воде свидетельствует о возможности заражения последней болезнетворными микробами. Если в 1 мл воды содержится не более 100 безвредных бактерий, она неопасна, болезнетворные микробы-паразиты инертны. Если эта норма превышена, микробы начинают развиваться, а вода, содержащая их, становится опасной для человека. Согласно ГОСТу 2874 — 73, в 1 л питьевой воды допускается не более трех кишечных палочек, т. е. коли-индекс должен быть не более 3. Обратная величина (коли-титр — количество кубических сантиметров воды, в котором находится одна кишечная палочка), должна быть не меньше 300.

**Токсичные химические вещества в питьевой воде.** Некоторые химические элементы даже при небольшом их содержании в воде токсичны. В нашей стране концентрация их регламентируется ГОСТом (табл. 2.6).

Бериллий в природных водах обнаруживается в концентрациях 0,0012—0,00001 мг/л [Лазарев, 1976; Грушко, 1979]. Повышенное содержание этого элемента в подземных водах отмечается в районах рудопроявлений, в составе которых присутствуют его минералы, а также в воде с высоким содержанием фтор- и сульфат-ионов. При значительном количестве в воде бериллий оказывает острое токсичное и кумулятивное действие. В желудочно-кишечном тракте соли его всасываются медленно и быстро удаляются из организма, но не полностью. Особенно токсичны соединения бериллия с ионами сульфатов, хлоридов и нитратов. Соединения бериллия нарушают проницаемость клеток, вызывают их отек и невроз, заканчивающийся разрастанием соединительно-тканевых элементов.

Хроническое отравление молибденом людей и животных ведет к нарушению обмена меди и фосфора в костной ткани. Патологоанатомические изменения под действием металлического молибдена и его двуокиси — полнокровие легких с утолщением альвеолярных стенок и разрастанием соединительной ткани, а также полнокровие и слабая паренхиматозная дистрофия печени. При воздействии трехокиси молибдена и пермолибдата аммония в легких отмечаются кровоизлияния, резкие отеки вокруг сосудов, обширные паренхиматозные дистрофии ткани печени, а также эпителиа извитых канальцев почек.

Мышьяк встречается, как правило, в соединениях с металлами; они токсичны; вызывают изменения в капиллярах, нервной системе, нарушение обмена веществ, злокачественные образования. В местностях с высоким содержанием мышьяка в питьевой воде (Аргентина) зарегистрировано значительное число случаев рака кожи.

Нитраты оказываются токсичными, если в питьевой воде их более 10 мг/л. При таком содержании наблюдались смертельные случаи среди

детей. При употреблении в пищу воды с концентрацией 50—100 мг/л нитратов резко увеличивается число лиц с повышенным содержанием метгемоглобина в крови.

**Токсичность полиакриламида** — синтетического мономера, применяемого для очистки воды, — недостаточно ясна, некоторые исследователи относят его к высокотоксичным.

При концентрации свинца в питьевой воде в пределах 0,04—1 мг/л наблюдались случаи хронического отравления. Свинец вызывает изменения в нервной системе, крови и сосудах. Проникнув в организм, он переходит в различные внутренние органы, а затем в кости, где отлагается в виде нерастворимого трехосновного фосфата. Последний под влиянием ряда причин может перейти в растворимую двухосновную фосфорную соль, что влечет за собой мобилизацию свинца из костей в кровь и возникновение вспышки отравления. Свинец вызывает целый ряд хронических заболеваний: свинцовые полиневрит, энцефалопатию и центральный артериосклероз, а также язвенную и другие болезни.

Соединения селена ядовиты и по характеру действия несколько напоминают соединения мышьяка. При употреблении питьевой воды с повышенным содержанием селена у людей наблюдаются различные недомогания, вплоть до нервных расстройств, у скота — потеря веса и заболевания.

Стронций в больших дозах оказывает на организм общетоксичное действие главным образом как нервный и мышечный яд. Соли стронция вызывают расстройство желудка и параличи. Наиболее токсичен салицилат стронция, наименее — бромат; гидроксид стронция вызывает ожоги слизистой оболочки и кожи.

**Уран** — высокотоксичный элемент. При попадании в организм людей и теплокровных животных он аккумулируется в костях, в печени и почках. Фторид и хлорид уранила могут всасываться кожей и вызывать поражение почек со смертельным исходом.

Некоторые элементы полезны в питьевой воде в определенных количествах, но вредны в повышенной концентрации. Например, избыточное содержание фтора влияет на развития флюороза; концентрация его меньше 1 мг/л вызывает кариозное поражение зубов (особенно у детей). Оптимальное для человека содержание фтора в воде составляет в среднем 0,7—1,5 мг/л. Подземные воды с регионально повышенным содержанием фтора достаточно широко распространены в земной коре. В СССР выделяются несколько провинций фтороносных вод, где наблюдается повышенная концентрация этого элемента: Московская, Молдавская, Казахстанская, Средне-Азиатская и Якутская [Крайнов и др., 1978].

Аналогичное воздействие на живые организмы оказывает иод. А. В. Кудельский [1981] описывает случай гибели верблюдов в Туркмении от выпитой ими чистой природной воды, в которой было очень большое содержание иода (450 мг/л). Верблюд-дромадер выпивает за один раз 50—60 л воды, следовательно, гибель животного наступила в результате поглощения 22—27 г иода.

**Органолептические показатели.** Специфичность некоторых физических и химических свойств воды также определяет пригодность использования ее для питьевого водоснабжения.

Запах воды имеет особо важное значение. Питьевая вода не должна иметь никакого запаха, особенно гнилостного, так как он делает ее непригодной для употребления. Неприятен также болотный запах, рыбный и др. Интенсивность запаха учитывается по пятибалльной шкале: 1) слабый запах, который обнаруживается только специалистом, потребителем этого запаха обычно не ощущает; 2) слабый запах, который обнаруживает потребитель, если обратить на это его внимание; 3) заметный запах, легко устанавливаемый населением, которое может дать отрицательные отзывы о воде; 4) население воздерживается от употребления воды для питьевых целей; 5) вода совершенно непригодна для питья.

Согласно ГОСТу 2874 — 73, питьевой считается вода, имеющая интенсивность запаха не выше 2 баллов.

Вкус воды — важный показатель ее качества — может быть связан с попавшими в нее сгнившими растительными и животными веществами, илом, бытовыми и промышленными сточными водами, газом и т. д. Различают соленый, горький, сладкий и кислый вкус воды. Соленый вкус вызывается наличием в воде хлористого натрия; горький — сульфатов магния и натрия, хлоридов кальция, магния и калия; сладкий — большим количеством органических веществ; кислый — избыточным содержанием серной кислоты или углекислого газа.

Питьевая вода не должна иметь никакого неприятного привкуса. Возможны хлорный, рыбный, металлический, ржавый, чернильный и другие привкусы.

Питьевая вода не должна иметь окраски. Чаще всего цвет воды зависит от гуминовых веществ, в зависимости от количества которых она может быть от желтой до желто-коричневой. Однако окраску могут давать не только гуминовые вещества, но и сточные воды предприятий различных отраслей промышленности, например стоки красильных цехов текстильных фабрик.

Мутность (или прозрачность) — одно из требований, предъявляемых к питьевой воде. Согласно ГОСТу 2874 — 73, питьевая вода может содержать взвешенные вещества по стандартной шкале в количестве не более 1,5 мг/л, так как всякое замутнение ее влияет на вкусовые качества. Мутная вода вредна для здоровья. По степени прозрачности воду условно разделяют на прозрачную, слабоопалесцирующую, опалесцирующую, слегка мутную, мутную и сильномутную. Кроме того, вода не должна содержать различных невооруженным глазом водных организмов и не должна иметь на поверхности пленку.

Температура питьевой воды должна быть не ниже 5°C и не выше 15°C. Питьевая вода с температурой ниже 5°C вредна не только для здоровья человека, но и, например, для рогатого скота, так как уменьшает его продуктивность.

На органолептические свойства воды влияют некоторые химические вещества, содержание которых не должно превышать установленных норм (см. табл. 2.6).

Значительная концентрация хлора в воде вызывает болезненные изменения в организме и отрицательно действует на кожу. По мнению Совета по качеству окружающей среды (США), даже хлорирование воды в целях дезинфекции вредно для человека и животных. Образующийся при этом хлороформ способен вызвать рак прямой кишки и мочевого пузыря. Вредное воздействие оказывает и поваренная соль, проникающая в подземные воды при использовании ее для растаивания снега или борьбы с гололедами на дорогах. Как утверждают исследователи американской Ассоциации по сердечным заболеваниям, она способствует повышению кровяного давления, что является одной из причин кардиологических заболеваний [Ground Water, 1981].

Сульфат-ион для человека и теплокровных животных малотоксичен. При концентрации 1000—2000 мг/л вызывает расстройство желудочно-кишечного тракта. Сульфат магния оказывает вредное действие на организм человека при меньших содержаниях. Сульфат-ион становится токсичным для детей при длительном употреблении питьевой воды с его концентрацией 600—1000 мг/л. Высокое содержание сульфат-иона в воде ухудшает ее вкусовые качества.

Повышенное содержание железа в питьевой воде вызывает чернильный привкус, мешает ее использованию для питьевых и хозяйственных нужд.

Содержание в питьевой воде 0,1 мг/л марганца делает ее мутной. Соединения марганца — сильные яды. Они действуют на центральную нервную систему, вызывая тяжелые органические изменения, на легкие, печень, периферическую кровь.

Содержание в питьевой воде больше 1 мг/л меди оказывает токсичное действие на сельскохозяйственных животных. Попадание ацетата или сульфата меди в желудок человека вызывает его расстройство, боли в животе, резко выраженное гемолитическое действие с быстрым появлением темной мочи в моче и другие болезненные явления.

Содержание в воде 2 мг/л и более цинка придает ей специфический привкус (вяжущий), вызывает опалесценцию, выпадение пескоподобного осадка. При 30 мг/л цинка вода становится непригодной для питья по вкусу и мутности, приобретает молочный цвет. Опыты на мышах показали возможность развития раковой опухоли при концентрации в воде 5—20 мг/л цинка. Цинк становится канцерогенным при содержании его в питьевой воде в количестве 10—20 мг/л.

Из соединений алюминия наиболее ядовиты его хлориды, нитраты, ацетаты и сульфиды, накапливающиеся в тканях. По степени токсичности они приравниваются к мышьяку, никелю, меди, марганцу.

Концентрация водородных ионов (рН) позволяет определить в воде формы состояния угольной, кремниевой, сероводородной и фосфорной кислот, насыщенность подземных вод слабыми основаниями, условия развития биологических и химических процессов. Величина рН в подземных водах изменяется в значительных пределах: низкое ее значение (до 5) — в ультрапресных водах, хлоридных кальциевых рассолах и в минеральных углекислых водах; еще более низкое (до 4) — у некоторых типов болотных вод. Концентрация водородных ионов вод сульфидных месторождений опускается иногда до 1. Однако в природе встречаются и щелочные воды с рН больше 9—10, редко 11. Концентрация водородных ионов зависит от температуры подземной воды, степени ее минерализации, характера растворимых в воде веществ. Более того, есть предположение, что концентрация водорода изменяется в зависимости от времени суток и сезонов года. Согласно ГОСТу 2874 — 73, водородный показатель (рН) питьевой воды должен быть в пределах 6,5—8,5.

Жесткость — важный показатель качества в случае применения воды как для питья, так и технических целей. Исследования последних лет показали, что использование мягкой воды увеличивает по сравнению с жесткой вероятностью сердечно-сосудистых заболеваний. С другой стороны, в некоторых случаях лучше применять мягкую воду. Так, в жесткой воде плохо развариваются овощи и мясо, она портит вид, аромат чая, в котлах дает сильную накипь, засоряет трубы. В СССР вода, используемая для целей питьевого водоснабжения, должна иметь общую жесткость не более 7 мг-экв./л.

Таким образом, на живой организм воздействует как недостаток, так и избыток солей, растворенных в воде.

Высокие требования к качеству питьевых вод нередко вызывают необходимость предварительной ее подготовки к применению.

На первом этапе вода направляется в смесители, где она подвергается химической обработке — коагуляции. Коагулянт (сернокислый алюминий) способствует слипанию взвешенных частиц с образованием крупных хлопьев. Для стимуляции процессов коагуляции проводится магнитная обработка воды, при этом скорость слипания мелких взвешенных частиц возрастает на 20—90%. Из смесителя вода поступает в отстойники, освобождается от взвеси, затем пропускается через фильтры — резервуары, заполненные зернистым материалом. Очистные сооружения задерживают все взвешенные частицы и 99% микроорганизмов, содержащихся в воде источника. Вода становится прозрачной, но для питья еще непригодна. Ее необходимо очистить от примесей, содержание которых превышает установленные нормы, а также насытить недостающими элементами.

Важным этапом обработки воды является обеззараживание, уничтожение болезнетворных микроорганизмов. Дезинфекция воды на водопроводных станциях производится хлорированием, озонированием, а также с помощью ультрафиолетовых лучей.

Наиболее распространенный метод — хлорирование. Сущность обеззараживающего действия хлора заключается в угнетении обмена веществ, в окислении веществ, входящих в протоплазму клеток бактерий, в результате чего микроорганизмы гибнут.

Более удобный способ дезинфекции питьевой воды — озонирование. Озон, как и хлор, является сильнейшим окислителем; достаточно ничтожной его дозы (0,5 мг на 1 л воды), чтобы, например, вирус полиомиелита погиб уже через 2 мин. С помощью хлора этот вирус уничтожается только за 3 ч [Новиков, Сайфутдинов, 1981]. Кроме того, озон обесцвечивает воду в 15—30 раз быстрее, чем хлор, придавая ей голубой оттенок, уничтожая все неприятные запахи и привкусы.

Ультрафиолетовая обработка воды весьма перспективна в связи с появлением новых мощных источников излучения. Преимущества этого метода в том, что в воду не вводятся посторонние вещества, изменяющие ее физико-химические и органолептические свойства, оборудование компактно и несложно в эксплуатации, не требуются контактные емкости. Эффект дезинфекции основан на губительном воздействии ультрафиолетовых лучей на белковые коллоиды и ферменты протоплазмы микробных клеток. Однако этим методом можно обезвреживать только воду, обладающую малой цветностью и не содержащую коллоидных и взвешенных веществ, так как они поглощают и рассеивают ультрафиолетовые лучи.

Химический состав пресных подземных вод после начала эксплуатации месторождений не всегда остается таким, каким он был при разведке и сдаче в эксплуатацию. Изменения нормируемых для питьевой воды компонентов могут происходить вследствие интенсивной эксплуатации месторождений подземных вод, при которой отбор их превышает естественное восполнение. В результате на участках месторождений отмечается сработка уровней и напоров подземных вод, подтягивание к водозаборным сооружениям вод более глубоких горизонтов. В связи с этим часто повышается их минерализация, увеличиваются содержания хлор- и сульфат-ионов, железа и других нормируемых компонентов. Ухудшение качества подземных вод на участках водозабора происходит и вследствие попадания в эксплуатируемый водоносный горизонт техногенных вод. Из всего этого вытекает необходимость систематического контроля за качеством отбираемой воды и ее изменением. Наблюдения эти должны быть достаточно длительными, на базе их дается прогноз возможного изменения качества воды во времени.

Необходимо иметь в виду, что в некоторых случаях методика определения нормируемых элементов не позволяет получить достоверные сведения об их содержании в подземных водах [Крайнов и др., 1978]. В частности, существует противоречие между природными состояниями некоторых элементов в подземных водах (формами миграции) и их состояниями при определениях, положенных в основу ГОСТа 2874 — 73 и ГОСТов на методы анализа; возможна недостаточная чувствительность метода для определения допустимых концентраций химических веществ. В аналитических исследованиях не нашли необходимого отражения и данные об органических веществах в питьевых водах. Между тем, если до 1970 г. было установлено около 100 различных их соединений во всех типах вод, то в 1975 г. это количество возросло более чем до 1500. Из них около 400—500 приходилось на питьевые воды. В число этих загрязнителей, не имеющих аналогов в природе, вошли разнообразные пестициды, галогенированные растворители, нитропроизводные, синтетические поверхностно-активные вещества и др.; многие из них представляют угрозу для здоровья человека.

#### 2.4. НЕКОТОРЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Подземные воды широко используются для водоснабжения как крупных городов и мелких населенных пунктов городского типа, так и объектов сельского хозяйства.

Уровень использования подземных вод для указанных целей в разных республиках неодинаков (табл. 2.7). Достаточно интенсивно отбор их осуществляется в Молдавии, Грузии, Армении, на Украине, в Азербайджане и Туркмении, т. е. в республиках, где ресурсов поверхностных вод для водоснабжения не хватает.

Согласно кадастру ВСЕГИНГЕО, по состоянию на 1980 г. общий учтенный отбор подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения по СССР в целом составляет около 960 м<sup>3</sup>/с (30 км<sup>3</sup>/год), или 10% утвержденных прогнозных эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод. Фактически с учетом скважин всех организаций количество извлекаемых подземных вод почти в два раза больше. По некоторым регионам СССР в 1981 г. добыча подземных вод составила: в Западной Сибири — 105 м<sup>3</sup>/с, в Восточной Сибири — 25, на Дальнем Востоке — 29 м<sup>3</sup>/с (сведения треста «Востокбурвод»). По данным Генеральной схемы комплексного использования водных ресурсов Советского Союза, в относительном исчислении к современным эксплуатационным ресурсам потребление подземных вод для промышленно-городского водоснабжения составит 12% и сельскохозяйственного — 19%. Однако есть все основания утверждать, что к тому периоду и эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод увеличатся. Последнее возможно за счет выявления новых месторождений пресных подземных вод в районах, освоенных промышленностью, сельским хозяйством, и на слабо изученных территориях.

Кратко остановимся на обеспеченности ресурсами подземного стока (рис. 2.4) и использовании подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения в некоторых зарубежных странах.

В США добыча подземных вод к 1980 г. достигала 91 км<sup>3</sup>/год, из них на хозяйственно-питьевое водоснабжение расходовалось 17—20%. Ежесуточный водоотбор из невозобновляемых запасов равнялся 0,08 км<sup>3</sup> (Eisel, 1981). Доля подземных вод в общем водопотреблении в 1980 г. составила не менее 17%, в последующие годы намечается постепенное ее увеличение. Так, если в середине семидесятых годов соотношение между расходами подземных и поверхностных вод оценивалось как 1 : 4, то в 2000 г., оно, очевидно, будет равным 1 : 2. По отдельным районам США использование подземных вод на хозяйственно-питьевое водоснабжение колеблется от 12 до 55—65%. Водоснабжение населения сельскохозяйственных областей на 95%, а в аридных и полуаридных зонах полностью основывается на использовании подземных вод.

Т а б л и ц а 2.7

Использование эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод для водоснабжения городов [Плотников, 1969]

Республика	Отбор, м <sup>3</sup> /с	% использования от прогнозных ресурсов	Республика	Отбор, м <sup>3</sup> /с	% использования от прогнозных ресурсов
РСФСР	156,0	4,2	Армения	7,0	14,0
Украина	52,0	13,5	Казахстан	19,5	2,2
Белоруссия	15,6	3,5	Узбекистан	21,5	2,5
Молдавия	2,4	25,0	Туркмения	3,8	9,5
Латвия	1,8	2,0	Киргизия	5,5	3,0
Литва	2,3	3,4	Таджикистан	1,6	1,5
Эстония	4,6	6,0			
Азербайджан	11,7	9,6			
Грузия	6,0	20,0	Всего . . . . .	311,3	4,5

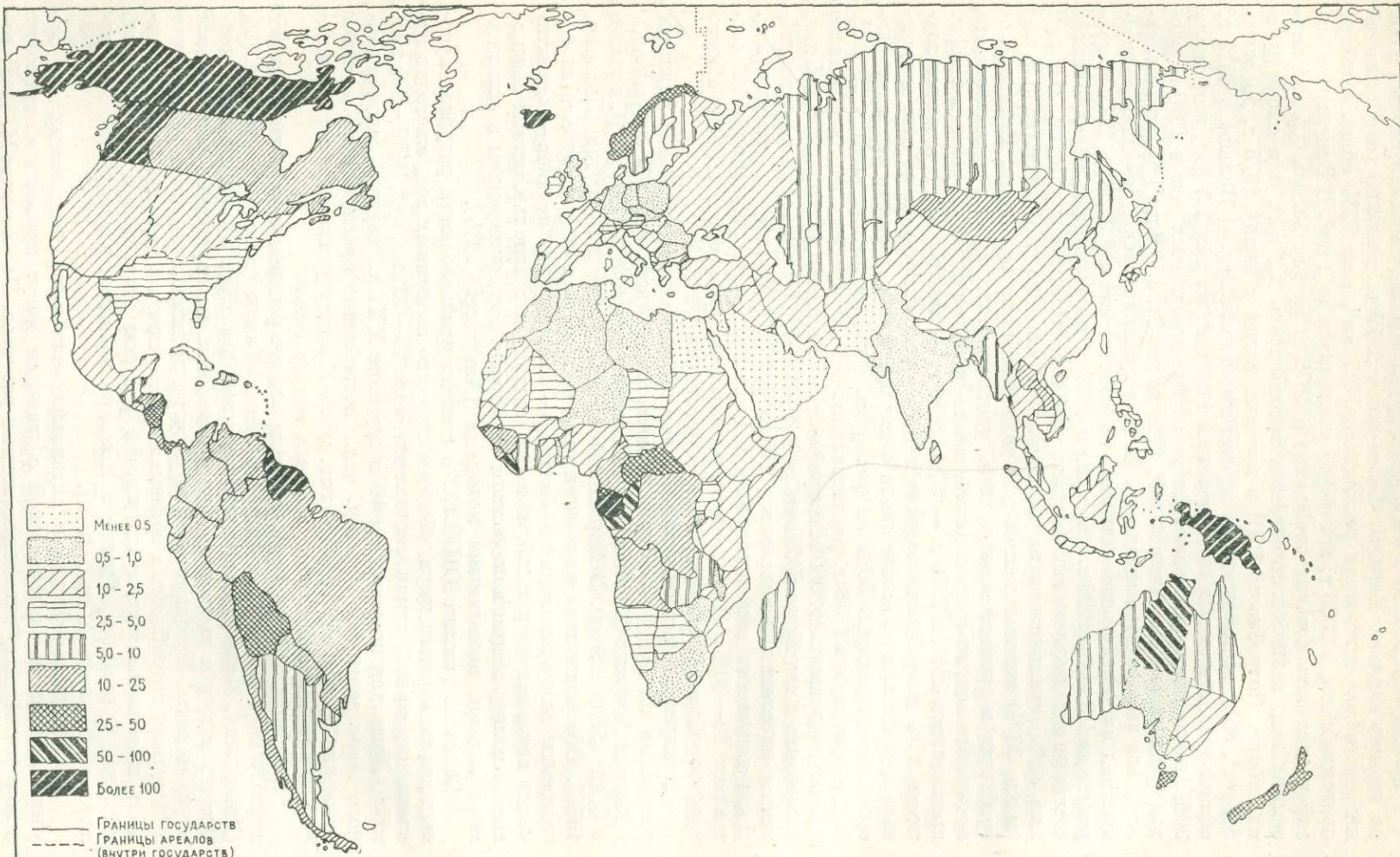
Весьма интенсивно в настоящее время используются подземные воды во многих странах Европы. Болгария в 1977 г. на цели хозяйственно-питьевого водоснабжения расходовала  $0,7 \text{ км}^3$ , или 72% общего отбора подземных вод, в 2000 г. эта цифра увеличится до  $2 \text{ км}^3$ . В Венгрии на хозяйственно-питьевое водоснабжение в 1970 г. затрачивалось  $0,5 \text{ км}^3$  подземных вод, в 1985 г. намечается использовать  $3,2 \text{ км}^3$ , или около 10% их отбора. Потребность ГДР в пресных водах к концу 1975 г. достигла  $8,1 \text{ км}^3$ , 80% ее покрывалось за счет подземных вод. В Польше в 1972 г. общий расход пресных вод составлял  $11,6 \text{ км}^3$ , из них  $2,3 \text{ км}^3$ , или около 20%, приходилось на подземные воды. Предполагается, что в 1990 г. расход пресных вод достигнет  $29 \text{ км}^3$ , 17% из них (т. е.  $4,9 \text{ км}^3$ ) будут удовлетворяться за счет подземных вод. В Чехословакии расход пресных подземных вод на хозяйственно-питьевое водоснабжение с  $0,9 \text{ км}^3$  в 1975 г. возрастет до  $1,3 \text{ км}^3$  в 1990 г. Австрия в 1977 г. на различные народнохозяйственные нужды расходовала примерно  $2,5 \text{ км}^3$  пресных вод, из них  $0,8 \text{ км}^3$ , или 32%, приходилось на подземные. Последние в количестве  $0,3 \text{ км}^3$  (около 33%) использовались для водоснабжения населения. Бельгия потребности в пресной воде на 90% удовлетворяет за счет использования подземных вод, из них на хозяйственно-питьевое водоснабжение в 1969 г. приходилось 43%, в 1970 г. — 57, в 1980 г. — около 80%. В Испании почти на 25% потребности водоснабжения удовлетворяются за счет подземных вод. Италия добывает около  $6 \text{ км}^3$  пресных подземных вод в год, что составляет примерно 30% их ресурсов, которые оцениваются в  $20 \text{ км}^3$ . В Нидерландах в 1976 г. расходовалось  $0,8 \text{ км}^3$  пресных вод, в том числе  $0,5 \text{ км}^3$  подземных. В 2000 г. потребность в пресной воде возрастет до  $5 \text{ км}^3$ , а подземных вод будет добываться  $1,5\text{—}2 \text{ км}^3$ . В Финляндии на водоснабжение населения используется около 30% отбираемых подземных вод. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении ФРГ составляет 60—80%. Широко используются подземные воды (60% общего водопотребления) в Австралии [Григоркина, 1977].

В мировом масштабе наибольшая обеспеченность пресными водными ресурсами на душу населения отмечается в Австралии ( $27\,500 \text{ м}^3/\text{год}$ ), в Южной Америке ( $21\,100 \text{ м}^3/\text{год}$ ), Северной Америке ( $7640 \text{ м}^3/\text{год}$ ), а также в СССР ( $5800 \text{ м}^3/\text{год}$ ). В Европе она не превышает  $2100 \text{ м}^3/\text{год}$  [Львович, 1974]. Обеспеченность населения пресными водами за счет одного из постоянных факторов водного баланса — атмосферных осадков — схематически показана на рис 2.5, который составлен с использованием соотношений между общим количеством метеорных вод, испарением и оставшимися водами, выносимыми потоками [Ambroggi, 1980].

Согласно данным ЮНЕСКО о степени использования ресурсов пресных вод по странам мира, общее количество подземных вод, ежегодно извлекаемых из недр земли, составляет около  $15\text{—}20 \text{ тыс. км}^3$  ( $476\text{—}635 \text{ тыс. м}^3/\text{с}$ ). Лишь для питьевых целей к середине XXI в., когда население земного шара достигнет 12 млрд. чел., потребление пресной воды составит примерно  $30 \text{ тыс. км}^3/\text{год}$  ( $950 \text{ тыс. м}^3/\text{с}$ ). К концу указанного века ожидается отрицательный баланс пресных вод на Земле.

Но уже и в ближайшем будущем водные ресурсы во многих районах земного шара могут быть недостаточными. Так, в некоторых штатах США (Джорджия, Калифорния) полностью использованы запасы пресных подземных вод, и в настоящее время в водоносные горизонты фильтруются морские воды. Предварительные расчеты по нашей стране показали, что в Молдавии потребность в подземных водах почти в два раза будет превышать прогнозные эксплуатационные ресурсы этих вод, а на Украине, в Литве, Туркмении, Грузии и Армении окажется соизмеримой с их величиной [Зекцер и др., 1979].

Рост водопотребления и интенсификация отбора подземных вод без учета изменения экологической обстановки могут привести и приводят к количественному истощению водных ресурсов. По расчетам М. И. Львовича [1974], современный мировой безвозвратный расход воды на все виды водоснабжения составляет  $70 \text{ тыс. м}^3/\text{с}$  ( $2200 \text{ км}^3/\text{год}$ ).



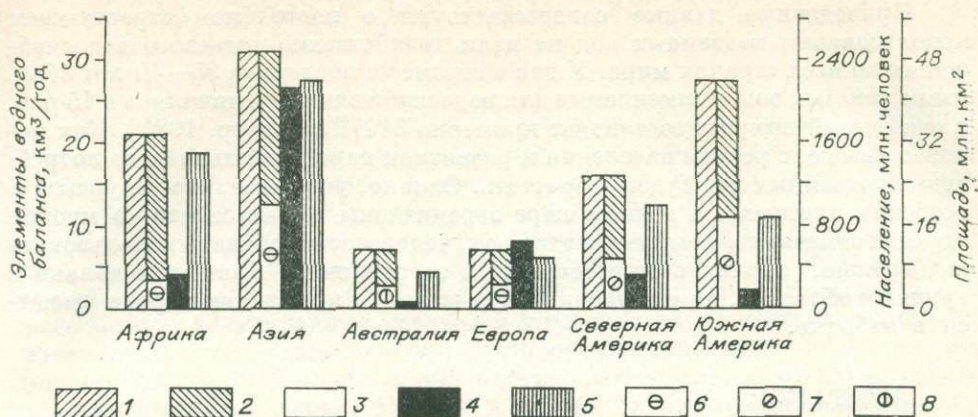


Рис. 2.5. Водообеспеченность населения земного шара за счет атмосферных осадков. 1—3 — элементы водного баланса: 1 — количество атмосферных осадков, 2 — испарение, 3 — сток; 4 — население; 5 — площадь. Водообеспеченность за счет атмосферных осадков на 1 млн. чел. ( $\text{м}^3/\text{с}$ ): 6 — 0 — 0,5; 7 — 0,5 — 5; 8 — > 5.

Задача обеспечения населения земного шара доброкачественной питьевой водой становится все более актуальной. Пути решения ее разнообразны.

В аридных районах издавна практикуется магазинирование подземных вод на такырах (глинистых участках). Благодаря последним атмосферные осадки скапливаются под землей и образуют линзы пресной воды.

В некоторых странах мира (особенно в аридных и полуаридных районах) возрастает значение солоноватых и соленых подземных вод как дополнительного источника пресных вод. К середине 70-х годов на земном шаре в промышленной эксплуатации находилось около 800 опреснительных установок, которые ежегодно вырабатывали 1,7 млн.  $\text{м}^3$  пресной воды, 90% которой расходовалось на питьевые нужды [Никитин и др., 1978]. Только опресненной водой снабжается г. Шевченко — единственный в СССР и один из немногих крупных городов мира. В настоящее время одни методы опреснения воды уже применяются, другие — находятся в стадии разработки: дистилляция с использованием искусственных источников тепла, гелиодистилляция, электродиализ (удаление ионов солей из раствора под действием поля постоянного электрического тока), гиперфильтрация (или обратный осмос), вымораживание с использованием естественного и искусственного холода и т. п.

Для возобновления ресурсов пресных вод иногда используются подземные водохранилища, создаваемые путем пагнетания в недра поверхностных вод. В СССР подземные водохранилища служат источниками водоснабжения нескольких десятков крупных городов в Литве, Латвии, Крыму. В приморских районах подземное хранение пресных вод помогает бороться с проникновением в береговую зону морских вод. Иногда закачка воды в пласты позволяет использовать для водоснабжения даже отработанные и загрязненные воды, которые освобождаются от части загрязнений в процессе фильтрации. Такой метод применяется в США (о. Лонг-Айленд), в ФРГ (г. Франкфурт-на-Майне), в Голландии (Амстердам, Гаага). Однако этот метод требует надежной изоляции грязных подземных вод от чистых естественных.

Возможность использования подземных льдов для водоснабжения в области развития многолетнемерзлых пород изучалась в Якутской АССР [Вдовин, 1970]. Предполагается, что протаиванием мощных линз подземных льдов, которое можно вызвать действием солнечной радиации, могут быть созданы водоемы — бассейны со значительными запасами пресных вод.

Рис. 2.4. Обеспеченность стран мира ресурсами подземного стока, тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$  на душу населения [Львович, 1974].

Приведенные данные свидетельствуют о постоянно возрастающем использовании подземных вод на цели хозяйственно-питьевого водоснабжения во всех странах мира. У нас в стране за последние 35—40 лет объемы подземных вод, применяемые для водоснабжения, увеличились в 15 раз, а ежегодный прирост составляет примерно 5% [Пиннекер, 1981]. Как показано выше, с ростом населения и развитием народного хозяйства потребление подземных вод будет возрастать. Однако, учитывая, что ресурсы их, особенно пресных, на земном шаре ограничены и уже сейчас во многих странах отмечается недостаток этих вод, человечество обязано использовать их бережно, охранять от истощения и загрязнения, причем не только в аридных областях, но и в районах, где эти воды в настоящее время имеются в избытке.

## ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А. К вопросу о химической классификации природных вод.— В кн.: Вопросы гидрохимии. Л.: Гидрометеониздат, 1946, с. 25—38.
- Вернадский В. И. История минералов земной коры.— Избр. соч. Т. 4. М., 1960. 651 с.
- Вдовин Ю. И. Использование подземных льдов для водоснабжения поселков Заполярья.— В кн.: VI совещание-семинар по обмену опытом строительства в суровых климатических условиях. Т. 6. Красноярск: Красноярск. кн. изд-во, 1970, с. 100—104.
- Вода питьевая. ГОСТ 2674 — 73. М.: Изд-во стандартов, 1974. 3 с.
- Григоркина Т. Е. Подземные воды Австралии и их использование.— Изд. Всес. геогр. о-ва, 1977, т. 109, № 1, с. 96—100.
- Грушко Я. М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах. Л.: Химия, 1979. 161 с.
- Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г. Общая гидрология. Л.: Гидрометеониздат, 1973. 461 с.
- Зайцев И. К. Некоторые вопросы терминологии и классификации подземных вод.— В кн.: Материалы по региональной и поисковой гидрогеологии. Л.: Госгеолтехиздат, 1961, с. 141—160.
- Зайцев И. К., Толстихин Н. И. Закономерности распространения и формирования минеральных вод. М.: Недра, 1972. 278 с.
- Зекцер И. С., Плотников Н. И., Язвин Л. С. О перспективах использования подземных вод.— Водные ресурсы, 1979, № 2, с. 75—82.
- Крайнов С. Р., Соколов И. Ю., Галицин М. С. Современные проблемы геохимии питьевых подземных вод.— Сов. геология, 1978, № 12, с. 28—41.
- Куделин Б. И. Подземный сток на территории СССР. М.: Изд. Моск. ун-та, 1966. 303 с.
- Кудельский А. В. Рассказы о воде. Белорусские криницы. Минск: Наука и техника, 1981. 117 с.
- Лазарев Н. В. Вредные вещества в промышленности. Л.: Химия, 1976. 623 с.
- Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
- Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 638 с.
- Никитин М. Р. Солоноватые и соленые подземные воды.— В кн.: Региональная оценка ресурсов подземных вод. М.: Наука, 1975, с. 95—106.
- Никитин М. Р., Ахметьева Н. Ш., Санин М. Б. Ресурсы солоноватых и соленых подземных вод СССР. М.: Наука, 1978. 143 с.
- Новиков Ю. В., Сайфутдинов М. М. Вода и жизнь на Земле. М.: Наука, 1981. 182 с.
- Пиннекер Е. В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. М.: Наука, 1966. 330 с.
- Пиннекер Е. В. Перспективы развития гидрогеологии.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1981, № 11, с. 5—8.
- Плотников Н. И. Ресурсы подземных вод СССР и их использование в народном хозяйстве. М.; изд. ВСЕГИНГЕО, 1969. 159 с.
- Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство. М.: Недра, 1976. 205 с.
- Сыдыков Ж. С., Давлетгалеева К. М. Гидрохимические классификации и графики. Алма-Ата: Наука, 1974. 190 с.
- Ambroggi R. P. Water. Scientific American, 1980, v. 243, N 3, p. 90—105.
- Eisel L. N. The national ground water picture Calif. Water. Resour. Cent. Univ. Calif. Dawis. Rept., 1981, N 53, p. 33—38.
- Ground Water. 1981, v. 19, N 1—5, p. 249—250.

### 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ОРОШЕНИЯ

В тесной связи с развитием промышленности, сельского хозяйства и ростом народонаселения находится все увеличивающееся потребление продовольственных ресурсов, обеспечить которое без дальнейшего развития орошаемого земледелия практически невозможно.

Из всех обрабатываемых на Земле площадей примерно 60% нуждаются в орошении [Орошение..., 1975]. По определению И. С. Зонна [1977], орошение представляет собой техническое мероприятие, которым человек воздействует на природные условия и улучшает их. И действительно, мировая литература свидетельствует, что орошаемые земли, составляя немногим больше 18% площади обрабатываемых земель, дают 2/3 мирового производства риса, зерна, фруктов и других сельскохозяйственных культур. Из этого следует, что орошение земель является одним из мощных факторов повышения их урожайности, с помощью которого можно добиться высокого и устойчивого производства сельскохозяйственной продукции.

Поэтому не случайно, что размеры орошаемых земель постоянно возрастали: к началу XIX в. общая площадь их составляла около 8 млн. га, а к концу — 40 млн. га, к середине XX в. превысила 100 млн. га, а к 70-м годам равнялась 200 млн. га. Из приведенных данных видно, что особенно значительный рост орошаемых земель приходится на период второй мировой войны, когда он составлял в среднем 4—5 млн. га в год.

Распределение орошаемых земель по континентам по состоянию на 1970—1971 гг. примерно таково (млн. га): Европа — 12,77; Азия — 164,64; Африка — 3,93; Северная и Центральная Америка — 27,43; Южная Америка — 6,62; Австралия и Океания — 1,70. Общая площадь орошаемых земель на указанный период составляла 217 млн. га [Орошение..., 1975]. По данным И. С. Зонна [1977], к середине 70-х годов она увеличилась до 245 млн. га при общей площади 1340 млн. га обрабатываемых земель. Из этой площади 85 млн. га, или 30%, находятся в аридной зоне земного шара. По расчетам, орошаемая территория в мире может быть увеличена в 2—3 раза.

В Европе орошение земель широко развито в Албании, Болгарии, Испании и Италии; на Азиатском материке — в Индии, Китае, Пакистане, Таиланде, Афганистане, Индонезии, Ираке, Иране, Южной Корее, Японии; в Северной и Центральной Америке — в США, Гаити, Доминиканской Республике, Кубе, Мексике; в Африке первое место по применению орошения занимает Египет, обрабатываемые земли которого полностью орошаются, далее следуют Судан, Малагасийская Республика; в Южной Америке — Перу.

В Советском Союзе площадь орошаемых земель на начало 70-х годов составляла 11,5 млн. га, что соответствовало 4,9% площади обрабатываемых земель. В 1975 г. уровень орошаемых земель поднялся до 14,5 млн. га, а в 1979 г., по данным Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР, достиг 16,7 млн. га. Таким образом, орошаемые территории по отношению к общей площади обрабатываемых земель нашей страны в настоящее время превышают 7%. «Продовольственной программой СССР на период до 1990 г.» намечается значительно увеличить площадь орошаемых земель в стране.

Одна из главных проблем мелиорации — качество воды, используемой для орошения. Как известно, качество поверхностных и подземных вод является динамичным, т. е. изменчивым во времени и пространстве, определяется особенностями физико-географических и гидрогеологических условий орошаемых территорий, зависит также от хозяйственной деятельности человека, а в частности, от интенсивности и масштабов химизации земель.

Например, поверхностные и подземные грунтовые воды дождливого периода обычно обладают меньшей минерализацией, чем засушливого,

когда на их формирование оказывает влияние испарение. Неодинаков состав воды и в разных частях бассейна стока. Так, в верховьях долин грунтовые воды аллювиальных отложений характеризуются наименьшей минерализацией, которая к нижним частям долин возрастает, при этом состав ее меняется не только в плане, но и в разрезе.

Специальные унифицированные требования к поливным водам отсутствуют. В. А. Ковда [1977] отмечает, что в истории мелиорации земель в Советском Союзе проблема качества поливных вод не возникала, так как использовавшиеся речные воды характеризовались слабой минерализацией (0,2—0,3 г/л) и благоприятным составом. Не возникала эта проблема в тот период и в других странах.

По мере развития промышленности и сельского хозяйства, широкого использования минеральных удобрений для поднятия урожайности земель качество как речных, так и подземных, особенно грунтовых, вод, находящихся близко к поверхности земли, стало постепенно ухудшаться, повысилась их минерализация, изменился состав, в воде увеличилось содержание натрия, сульфат- и хлор-ионов.

Быстро возрастающее потребление пресных вод в мире, а также дефицит их в аридных районах земного шара заставил искать новые источники воды, которые можно было бы применить для орошения.

Во многих странах с этой целью стали использовать солоноватые или соленые поверхностные и подземные воды. Так появилась проблема качества этих вод. Несмотря на то, что эта проблема обсуждается несколько десятилетий и ей посвящена большая литература, единые требования к водам повышенной минерализации, которые можно было бы использовать для орошения во всех районах земного шара, не удалось создать. Разработанная Комитетом экспертов ЮНЕСКО по проблемам, связанным с применением соленых вод, классификация, основанная на минерализации этих вод (пресная вода — минерализация до 1 г/л, слабосоленоватая — 1—3 г/л, солоноватая — 3—10 г/л, соленая — 10—35 г/л, океаническая — около 35 г/л, рассолы — более 35 г/л), практически не получила признания, так как ею не учитываются особенности их состава.

В результате появилось много частных точек зрения и классификаций, созданных для конкретных районов и стран, учитывающих особенности их физико-географических, геологических и гидрогеологических условий, а также другие природные факторы. По-видимому, только такой подход к решению этой проблемы и является единственно правильным.

В небольшой главе, естественно, невозможно сделать обзор всех взглядов на требования, предъявляемые к водам, используемым для орошения, но на некоторых из них, касающихся главным образом подземных вод, мы остановимся\*.

Качество подземных вод имеет исключительно важное значение для урожайности земель, особенно в районах недостаточного увлажнения, где под влиянием жаркого климата и испарения широко развиты процессы вторичного засоления почв. Общая площадь различной степени засоленных земель превышает 50 млн. га, или составляет около 20% всех орошаемых земель [Зонн, 1977].

По сводке Б. С. Маслова и Е. А. Нестерова [1967], в США для орошения используются подземные воды с минерализацией 5—8,5 г/л, а по более поздним исследованиям [Литвиненко, 1975; Булатов, 1976] — с концентрацией солей до 16—16,5 г/л. Поливная вода делится на классы (табл. 3.1), которые устанавливаются в зависимости от электропроводности и содержания натрия и бора, считающихся вредными и высокотоксичными.

Вода I класса пригодна для орошения всех культур на всех почвах, вода II класса понижает урожай наиболее чувствительных к солям куль-

\* Читателям, желающим более подробно познакомиться с состоянием проблемы, рекомендуем обратиться к аналитическому обзору Г. С. Нестеровой [1972], который, хотя и был опубликован в 1972 г., но не потерял своего значения до сих пор, а также к многочисленным работам В. А. Ковды, Д. М. Каца и других на эту тему.

Классы оросительной воды [по Д. Торну и Х. Петерсону, 1952]

Класс	Качество воды	Электропроводность при 25°C, К·10 <sup>4</sup>	Содержание солей, г/л	Натрий, %	Бор, мг/л
I	Высшее	0—100	0—0,7	60	0,0—0,5
II	Хорошее	100—300	0,7—2,0	60—70	0,5—2,0
III	Плохое	>300	>2,0	75	>2,0

тур, применение воды III класса влечет гибель или снижение урожайности всех сельскохозяйственных культур.

Д. Торн и Х. Петерсон [1952] отмечают, что помимо общего содержания солей в воде важное значение имеет соотношение между натрием и другими катионами, входящими в ее состав. По их мнению, необходимо, чтобы эквивалентное количество натрия к количеству кальция и магния находилось в пропорции 1 : 1. В настоящее время содержание натрия в оросительной воде оценивается по коэффициенту адсорбции, по которому она делится на четыре класса, — низкий, средний, высокий и очень высокий — и на четыре класса солености вод, измеряемой по электропроводности. Касаясь бора, Д. Торн и Х. Петерсон указывают, что содержание его в грунтовой воде имеет важное значение для многих культур. Допустимое количество бора в грунтовой оросительной воде, вошедшее в общегосударственные требования к их качеству, приводится в табл. 3.2.

Интересная классификация (табл. 3.3) была разработана индийскими исследователями для грунтовых вод, которые по степени пригодности для орошения разделены на три класса (А — хорошая, В — малоудовлетворительная и С — неудовлетворительная).

Важное значение при оценке воды придается разделному определению щелочных металлов в связи с разной их токсичностью (наибольшей у натрия). Вода является более благоприятной для использования, если сумма двухвалентных ионов преобладает над одновалентными.

В Англии в конце 60-х годов была предложена классификация соленых вод, рекомендуемых для орошения и предотвращения ухудшения мелiorативного состояния земель, основанная на их минерализации (табл. 3.4).

Помимо приведенных классификаций солоноватых и соленых вод, применяемых для полива земель, существуют и другие, разработанные в отдельных странах (например, в Венгрии). Во многих государствах исследуются возможности использования указанных вод для орошения, исходя из особенностей природных условий их территорий.

В Италии многолетние исследования по применению солоноватых вод для полива земель ведутся Институтом по проблемам орошения Апулии и Лацио и Институтом агрохимии. Установлено, что максимально допустимый предел концентрации солей в орошаемой воде не должен превышать 10—12 г/л.

Солоноватые и соленые воды для орошения широко используются в странах Северной Африки — Тунисе, Алжире, Марокко, Ливии. В Тунисе с целью изучения эффективности использования поливных вод созданы исследовательские центры с лабораториями, опытные станции и

Таблица 3.2

Классификация оросительных вод по содержанию в них бора [по У. Уилькоксу]

Категория воды	Чувствительность растения к бору, мг/л		
	сильная	средняя	слабая
Прекрасная	<0,33	<0,67	<1,00
Хорошая	0,33—0,67	0,67—1,33	1,00—2,00
Допустимая	0,67—1,00	1,33—2,00	2,00—3,00
Сомнительная	1,00—1,25	2,00—2,50	3,00—3,75
Непригодная	>1,25	>2,50	>3,75

Классификация оросительной воды

Класс воды	Электропроводность $\rho$ , Ом/см	Крайние значения содержания ионов, Мг—экв./л							Коэффициент адсорбции натрия	
		Na	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>		HCO <sub>3</sub>
A	1 370	9,56	1,64	1,62	2,69	6,00	3,56	2,63	5,47	7,0
B	3 790	30,43	6,41	2,49	9,33	22,5	13,43	3,84	10,25	32,4
C	12 117	65,21	7,92	11,19	32,74	104,5	14,80	2,63	4,96	22,4

экспериментальные участки. Удалось доказать, что при определенных мерах предосторожности (дренаж, обработка почвы и др.), обеспечивающих хорошую подвижность воды в почве, с учетом применяемых способов полива (норма, частота промывки и др.) возможно орошение даже довольно тяжелых почв соленоватыми водами или рассоление и выщелачивание почв этими же водами [Нестерова, 1972]. В экспериментах использовалась подземная вода с минерализацией 2—6,5 г/л.

В Алжире исследовательские центры по ирригации в Игли и Адраге изучали вопросы, связанные с освоением почв Сахары. Сделан вывод, что воды, содержащие более 10 г/л солей, не должны применяться для орошения, так как при их использовании получение урожая не гарантируется. Воду с минерализацией 5—6 г/л рекомендуется применять лишь в крайних случаях.

Положительные результаты применения соленоватых вод для орошения получены на опытной станции Зебра в Марокко, где исследовательские работы ведутся около 20 лет. В Триполи на легких хорошо фильтрующих почвах на орошение используется вода с концентрацией солей до 10 г/л. Соленоватые воды с минерализацией около 5 г/л на протяжении столетий употребляются для орошения почв и растительных культур в Иране.

В Израиле в пустыне Негев на побережье Красного моря в результате проведенных опытов установлена возможность использования соленых вод для орошения различных культур, высаженных на песках. Наилучшие урожаи, превышающие в некоторых случаях на 100% и более урожай при дождевом способе орошения и поливе по бороздам, получены при «капельном» орошении.

При этом методе орошения влага подается непосредственно к растениям, что позволяет максимально рационализировать этот процесс и уменьшить потери воды. Некоторые исследователи полагают, что при «капельном» методе орошения возможно использовать воду с плотным остатком до 16 г/л и даже 30—40 г/л [Ковда, 1977].

Таблица 3.4

Классификация воды по общей минерализации в Англии

Минерализация воды, %	Степень солености воды	Количество солей, поступающих на 1 га со 100 м <sup>3</sup> воды, кг	Пригодность воды для орошения
0,01—0,03	Низкая	10—30	Пригодна для всех культур
0,04—0,06	Средняя	40—60	Пригодна на хорошо оструктуренных почвах для всех культур, кроме солечувствительных
0,07—0,10	Высокая	70—100	Безопасна только для солевыносливых культур на почвах с очень хорошей структурой
0,11—0,15	Очень высокая	110—150	Возможно применение в ограниченных количествах для солевыносливых культур
Свыше 0,16 2—3	Чрезмерная Морская вода	160 2000—3000	Непригодна для орошения

В Советском Союзе в связи с недостатком пресных подземных вод в ряде областей также ведутся широкие исследования по применению соленоватых и соленых вод для орошения, и во многих районах эти воды практически уже используются.

В Туркмении для орошения применялись дренажные воды с минерализацией от 3—4 до 6 г/л. Установлено, что их вполне можно использовать для промывки солончаков и орошения риса и хлопчатника.

В Вахшской долине (Таджикистан) для промывки солончакового массива использовались подземные воды с плотным остатком 5,8—10,4 г/л, что дало положительные результаты.

По данным Д. М. Каца [1975], исследованиями в Узбекистане доказана возможность орошения слабоминерализованными подземными водами хлопчатника, особенно в смеси с пресными поверхностными водами. Вместе с тем автор отмечает, что при длительном употреблении этих вод наблюдается некоторое снижение урожайности хлопчатника и качества хлопкового волокна. По его мнению, слабоминерализованные (1—3 г/л) воды могут использоваться для орошения при хорошей дренированности почв и промывном его режиме.

Положительные результаты получены при орошении сильноминерализованными (10—31 г/л) подземными водами некоторых пастбищных территорий Киргизии.

В. М. Легостаев [1961], обобщивший опыт использования слабосоленоватых и соленых вод для орошения земель в Средней Азии, пришел к выводу, что при создании густой и глубокой дренажной системы можно для этих целей применять подземную воду с максимальной концентрацией солей до 10 г/л, после чего она должна смешиваться с пресной водой. Наилучшие результаты орошения слабоминерализованными (до 5 г/л) водами достигаются на проницаемых почвах возвышенностей, имеющих свободный естественный отток, при насыщении их влагой выше влагоемкости почв.

На Украине в течение нескольких десятилетий используются для полива сульфатные кальциевые шахтные воды Донбасса с концентрацией солей до 3—4 г/л. С помощью этих поливов достигались хорошие урожаи томатов, картофеля, капусты, моркови и других сельскохозяйственных культур. Однако, как отмечают М. Ф. Буданов [1956] и В. А. Ковда [1977], за длительное время бездренажного орошения, очевидно вследствие осолонцевания почв, урожайность их упала. В. А. Ковда считает, что последнее было связано с накоплением в почвах натрия и потерей ими структуры.

Требования к качеству подземных вод, применяемых для полива в Азербайджане, определяются слабой дренированностью большинства орошаемых массивов. Поэтому считается, что количество солей в этих водах не должно превышать 1 г/л, при более же высоком их содержании подземная вода смешивается в необходимых пропорциях с пресными поверхностными водами из действующих каналов. На некоторых орошаемых массивах, сложенных хорошо фильтрующими породами и имеющих значительные уклоны при глубоком залегании уровня грунтовых вод, на протяжении многих лет для полива используются подземные воды хлоридного натриевого состава с минерализацией 4—5 г/л [Красильщиков, 1975].

М. В. Санин и К. Н. Цыганова [1975] отмечают, что существенное увеличение урожаев огородных и садовых культур достигается при поливах соленоватыми и солеными подземными водами в северо-западных районах европейской части СССР с бедными, выщелоченными почвами песчаного, супесчаного и реже суглинистого состава.

По данным А. М. Черняева и А. П. Сирмана [1975], высокие урожаи овощей и фруктов получают на трех участках Челябинского угольного бассейна, для орошения которых используются шахтные воды сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридного натриево-магнезиевого и хлоридно-сульфатного натриевого составов с минерализацией 1,7—2,9 г/л.

В. А. Ковда [1977], рассматривая проблему использования вод повышенной минерализации для орошения земель, основываясь на исследованиях советских ученых, пришел к выводу, что физиологический предел концентрации солей в почвенном растворе корнеобитаемой зоны обычных земледельческих растений при хлоридно-сульфатном составе солей равен 10—12 г/л. Поэтому в принципе можно применять для орошения воду с минерализацией 1,5—3 и даже 5—7 г/л, но выше этого предела, т. е. 10—12 г/л, допускать не следует. Автор указывает, что для предупреждения засоления почв при орошении их слабосоленоватыми водами поливы необходимо осуществлять нормами на 15—20% более высокими, чем вододерживающая способность почв, для вымывания остаточных солей в дренажные системы. Применение минерализованных вод облегчается на супесчаных и песчаных почвах, а также в районах полуувлажного климата, где остаточные соли легче удаляются из почвы.

Таким образом, из изложенного следует, что лучшими для орошения являются пресные подземные воды с минерализацией от 0,2—0,5 и до 1 г/л. Однако во многих странах, особенно в аридной зоне земного шара, указанные воды в необходимом количестве отсутствуют, и там вынуждены применять подземные воды с более высокой концентрацией солей.

Несмотря на то, что проблема использования оросительных вод повышенной минерализации мало разработана, в некоторых областях и странах аридной зоны, как мы видели раньше, эти воды на протяжении десятилетий широко используются для орошения земель, т. е. их применение практически вышло из стадии экспериментирования. Как зарубежные, так и советские ученые пришли к выводу, что максимально допустимая минерализация вод 10—12 г/л при хлоридном натриевом составе.

Орошение водами повышенной минерализации в одних районах повышает урожайность земель, в других — сохраняет ее на уровне, получаемом при орошении пресными водами, а в третьих — дает более низкие урожаи и с худшим качеством сельскохозяйственных культур. При использовании этих вод в целях получения устойчивых урожаев должны возрастать частота промывных поливов, нормы дренирования, объемы отводимых минерализованных почвенно-грунтовых вод. Использование слабосоленоватых и соленых подземных вод дает существенное увеличение урожаев некоторых сельскохозяйственных культур не только в засушливых областях, но и в областях умеренного увлажнения с бедными, выщелоченными почвами [Ковда, 1977]. М. В. Санин и К. Н. Цыганова [1975] отмечают, что по гидрогеологическим условиям применение этих подземных вод для орошения потенциально [возможно более чем на половине той территории Советского Союза, где они имеют повсеместное распространение.

Другим крупным дополнительным источником водных ресурсов, которые можно использовать для орошения земель, являются слабоминерализованные воды дренажно-коллекторного стока. В ирригационных системах Средней Азии, Северного Кавказа, Кубани, Дона, юга Украины, Северного Крыма в поливной период сбрасываются сотни миллионов кубометров указанных вод в год, и это количество в течение ближайшего десятилетия может возрасти в два раза [Супряга, 1977]. Поэтому хотя бы частичное использование этих вод для орошения имеет большое народнохозяйственное значение [Кац, 1975]. Опыт использования дренажных вод в ряде районов Средней Азии дал положительные результаты.

Точных данных о масштабах использования подземных вод на орошение земель во всех странах, в том числе, по-видимому, и в нашей, нет. Многочисленные публикации на эту тему даже по одной и той же стране, но разных авторов часто бывают противоречивы; приводимые данные о подземных водах, расходуемых на полив, как правило, не соответствуют году выхода работы в свет и бывают одно-, двухлетней давности. Поэтому приводимые ниже по некоторым странам цифры абсолютного и относитель-

ного использования подземных вод для орошения дают лишь общее представление об их доле в этом техническом мероприятии.

В Советском Союзе первая сводка данных о подземных водах, расходуемых на орошение, опубликована Н. И. Плотниковым [1969] по состоянию на 1.1.1968 г., когда площадь поливаемых земель составляла около 8—9 млн. га. Расход подземных вод на указанные цели определялся примерно в 240 м<sup>3</sup>/с. Наибольшее количество их добывалось в Узбекской ССР — 60% эксплуатационных запасов, оцененных по республике; далее в убывающем порядке располагались Азербайджанская ССР (56%), РСФСР (36%), Таджикская ССР (24,4%) и др.

Отбор подземных вод осуществлялся главным образом из аллювиально-пролювиальных отложений конусов выноса, аллювиальных образований речных долин, межгорных и платформенных артезианских бассейнов. Площадь орошаемых земель за счет подземных вод на указанную дату составляла около 2% общей площади обрабатываемых земель.

По состоянию на 1.1.1972 г. водозабор на орошение по тем же республикам оценивался в 297,9 м<sup>3</sup>/с, что при увеличившихся площади поливаемых земель до 12 млн. га и эксплуатационных запасов подземных вод примерно на 1/3 не повысило относительной доли подземных вод в орошении, сохранив ее на прежнем уровне — 2% [Запарий, 1975].

В 1975 г. размер орошаемых земель достиг 14,5 млн. га, т. е. по сравнению с 1972 г. вырос на 20%. Однако относительные масштабы использования подземных вод на полив изменились мало и, по А. Я. Гуркину и В. М. Белякову [1977], составляли около 2,5%.

Такая доля участия подземных вод в орошении земель в нашей стране чрезвычайно незначительная и не соответствует имеющимся ресурсам. А. Я. Гуркин и В. М. Беляков считают, что на территории РСФСР отбор подземных вод для полива может быть существенно увеличен на Северном Кавказе, в Поволжье, на юге Западной Сибири; в Казахской ССР — в предгорных равнинах Киргизского хребта и Заилийского Алатау, в долинах рек Или, Чу, Талас и др.; в Узбекской ССР — в долине р. Чирчик Дальверзинской степи, Ферганской и Зеравшанской впадинах, в северо-восточной части Бухарского оазиса, на северо-востоке Голодной степи; в Таджикской ССР — в Зеравшанской, Вахшской и Кафиринганской впадинах; в Киргизской ССР — в Ферганской впадине и на северном побережье оз. Иссык-Куль; в Грузинской ССР — в Алазанской впадине и на территории Рионской низменности; в Азербайджанской ССР — в Алазанской впадине и в пределах Казах-Кировобадского массива.

Авторы отмечают, что на указанных территориях при рациональной системе орошения и обводнения земель можно будет получить 50—55 км<sup>3</sup>/год подземных вод и при существующих нормах полива дополнительно оросить 5—6 млн. га.

Рассмотрим использование подземных вод на орошение в некоторых других странах.

Европа относится к области умеренного увлажнения, в связи с чем засушливые площади занимают около 1% ее территории. Орошение земель осуществляется главным образом за счет поверхностных вод, хотя в отдельных странах используются и подземные воды, причем иногда в довольно значительных количествах.

В сельском хозяйстве Австрии, включая орошение, расходуется 0,05 км<sup>3</sup> подземных вод, или около 7% общего водопотребления. В Болгарии в 1975 г. площадь орошаемых земель превышала 1,1 млн. га, из них поливалось подземными водами немногим более 4%. Венгрия при весьма значительных ресурсах подземных вод (5,8 км<sup>3</sup>/год) на нужды сельского хозяйства, по состоянию на 1970 г., использовала 0,5 км<sup>3</sup>, или 8,6%. В Испании на орошение земель расходуется 20 км<sup>3</sup>/год воды, в том числе 4—5 км<sup>3</sup>/год, или 20—25%, подземной. В связи с проектируемым здесь увеличением площади орошаемых земель намечается использование поверхностных вод

довести до 40 км<sup>3</sup>/год, а подземных — до 6 км<sup>3</sup>/год, что понизит уровень их использования примерно до 13%. Для ФРГ основной статьей расхода воды в сельском хозяйстве является орошение, на которое ежегодно тратится 1,3 км<sup>3</sup> главным образом поверхностных вод; в 2000 г. планируется расходовать на орошение 3 км<sup>3</sup> воды, в том числе подземной 15—17%. В сельском хозяйстве ЧССР 85—95% объема потребляемой воды расходуется на орошение земель. Намечается снижение доли использования подземных вод в сельском хозяйстве с 41% в 1970 г. до 4% в 2000 г., вследствие увеличения общего водопотребления и истощения их ресурсов, хотя отбор этих вод сохранится примерно на одном и том же уровне (80—82 млн. м<sup>3</sup>/год). Доля подземных вод в обеспечении сельского хозяйства Польши в 1972 г. составляла 22%, к 1990 г. проектируется снижение ее до 12%.

Азия занимает третье место в мире по размерам территории с аридным и полуаридным климатом (38%). Поэтому орошение земель играет существенную роль в повышении их урожайности и соответственно в производстве продуктов сельского хозяйства: здесь сосредоточено 80% орошаемых площадей мира [Опыт..., 1979]. Преимущественно на подземные воды ориентируют орошение Саудовская Аравия, Йемен, МНР и др. Широко применяется орошение подземными водами в Индии, Иране, Пакистане.

В Индии использование подземных вод на орошение началось в 1934 г. Наиболее интенсивно оно проводится в штатах Уттар-Прадеш, Раджастан, Западный Бенгал. К началу первой пятилетки (1954 г.) доля подземных вод в орошении земель составляла около 40% от общего объема поливных вод, что соответствовало примерно 30% восполняемых ресурсов. В 1970—1978 гг. расходование подземных вод на орошение снизилось до 27—28% указанного объема. По разным источникам, к 1990—1991 г. отбор подземных вод на орошение будет 23—33%, к 2001 г. понизится до 11—18%, а к 2025 г. повысится до 36%. Этим количеством подземных вод намечается оросить 110 млн. га при общей площади обрабатываемых земель 210 млн. га. В Индии для орошения используются подземные воды с минерализацией до 5 г/л.

Иран — страна древнего орошения, в прошлом добывавшая воду для этого с помощью водосборных галерей-каналов (кяризов), строившихся главным образом в пределах крупных конусов выноса в предгорьях или в аллювиальных отложениях речных долин в пустынных зонах. В настоящее время эта система водозабора хотя и приходит постепенно в упадок, но все же дает в год около 16 км<sup>3</sup> воды, используемой на орошение. В последние два десятилетия с целью получения подземной воды на полив земель начали строиться буровые колодцы глубиной 90—210 м. Построено более 3000 таких колодцев, из которых извлекается около 2,25 км<sup>3</sup> воды в год. В перспективе намечается дальнейшее увеличение добычи подземных вод на орошение, особенно в районе Казвина, где из 360 млн. м<sup>3</sup> эксплуатационных запасов используется лишь 80 млн. м<sup>3</sup>. По состоянию на 1977 г., в Иране расходовалось на орошение 58 км<sup>3</sup> воды, в том числе поверхностной — 38 км<sup>3</sup> и подземной — 20 км<sup>3</sup>, или около 34%.

В Пакистане орошение земель начало развиваться с 1859 г., когда была построена плотина на р. Рави. Основные орошаемые районы находятся в долине Инда. Общая площадь ежегодно орошаемых земель превышает 12 млн. га, из них 6,6 млн. га, т. е. более 50%, орошается подземными водами. Ресурсы последних в долине, оцененные до глубины 137 м, составляют 2344 км<sup>3</sup>. На орошение расходуется 61,7 м<sup>3</sup>/с. Для отбора воды построено более 60 000 буровых колодцев глубиной от 30 до 140 м и диаметром 18—20". В долине Инда выделены зоны: подземных вод с минерализацией до 1 г/л, они непосредственно могут использоваться для полива; подземных солоноватых (1—3 г/л) вод, которые перед использованием на орошение должны разбавляться пресными поверхностными водами с минерализацией 0,25 г/л; подземных соленых вод (с концентрацией солей более 3 г/л), не рекомендуемых для орошения.

Данные о водоносных комплексах Алжира-Тунисской Сахары

Водоносный комплекс	Интервал залегания, м	Минерализация воды, г/л	Тип воды по составу
Нижнемеловой	55—938	1,4—3,8	$\text{ClSO}_4$ , $\frac{\text{SO}_4\text{Cl}}{\text{Na}, \text{Ca}}$
Верхнемеловой	144—166	До 4,0	$\frac{\text{ClSO}_4}{\text{Ca}}, \frac{\text{ClSO}_4}{\text{CaNaMg}}$
Эоценовый	139—524	До 3,2	$\frac{\text{SO}_4\text{Cl}}{\text{CaMg}}$
Мио-плиоценовый	32—201	1,6—7,2	$\frac{\text{ClSO}_4}{\text{CaMg}}, \frac{\text{ClSO}_4}{\text{NaCa}}$
Четвертичный	3—40	2,5—7	$\frac{\text{ClSO}_4}{\text{Na}}, \frac{\text{SO}_4\text{Cl}}{\text{Na}}$

Африка — самый аридный материк Земли, 59% ее площади относится к аридным и полуаридным областям. В связи с этим орошение земель здесь получило широкое распространение, но в литературе эта проблема освещена слабо.

В Марокко, Алжире, Тунисе, Ливии и АРЕ из более чем 24 млн. га обрабатываемых земель орошается немногим более 3 млн. га, причем около 90% этой площади приходится на долю АРЕ, где для этого используются главным образом поверхностные воды Нила. В остальных странах Сахары полив осуществляется солоноватыми и солеными подземными водами с минерализацией, как правило, более 1 г/л. Объем артезианских вод оценивается примерно 15 000 км<sup>3</sup> [Литвиненко, 1975].

В Алжира-Тунисской Сахаре на площади около 30 тыс. га расход воды, подаваемой на орошение, составляет 15 м<sup>3</sup>/с, из них около 70% приходится на подземные воды. Последние добываются из мио-плиоценовых песков, эоценовых известняков и нижнемеловых песчаников (табл. 3.5).

По оценкам экспертов ООН [Литвиненко, 1975], основанным на прогнозе роста численности населения в Сахарской части Алжира и Туниса, площадь орошаемых земель для удовлетворения населения продовольствием необходимо будет до конца нынешнего столетия увеличить в 2,5 раза. Определено, что только для поддержания в 2000 г. современного уровня производства сельскохозяйственных культур (с учетом покрытия дефицита влаги на плантациях финиковых пальм) подаваемые расходы воды потребуются увеличить в четыре раза. Минимальный и максимальный эксплуатационные расходы на орошение в 2000 г. составят в Алжире соответственно 41,4 м<sup>3</sup>/с на площади 57 тыс. га и 58,2 м<sup>3</sup>/с на площади 75 тыс. га, в Тунисе — 17 м<sup>3</sup>/с на площади 20,5 тыс. га и 22,4 м<sup>3</sup>/с на площади 27,5 тыс. га.

В Ливии имеется 167 тыс. га орошаемых земель, все они поливаются подземными водами. За последние годы в стране выявлены новые значительные ресурсы пресных подземных вод, позволяющие в течение длительного времени орошать 80 тыс. га земель.

В АРЕ подземные воды служат дополнительным источником оросительной воды, используемой в засушливые периоды года. В связи с тем, что в долине Нила земельные ресурсы полностью освоены, ведутся работы по освоению новых территорий в оазисах Новой Долины и вادي Эль-Натрун. Подземными водами намечено оросить около 22,7 тыс. га, или около 4% площади земель нового орошения, из них 18,9 тыс. га находятся в Новой Долине. Подземные воды в последней приурочены к нубийским песчаникам, имеющим мощность от 200 до 2000 м, концентрация солей в воде изменяется от 0,15 до 0,2 г/л, температура 52°C. Построенные буровые колодцы имеют суточный дебит 5 млн. м<sup>3</sup> воды.

В Северной Америке районы засушливого климата располагаются на западе и составляют около 10% общей территории.

В США к середине 70-х годов подземными водами орошалось 49% обрабатываемой площади. На их орошение расходовалось около 66% общего отбора подземных вод в стране. Наиболее широко орошение развито в 17 западных штатах аридного климата, где ежедневный расход подземных вод составлял 38 тыс. м<sup>3</sup>. Для добычи этого количества воды построено около 250—300 тыс. буровых колодцев. Для орошения используются главным образом (90%) грунтовые воды аллювиальных образований речных долин, а также песчано-галечниковых отложений приморских низменностей и высоких террас. Из известняков забирается 5% необходимой воды, из песчаников — 3% и из базальтов — 2%.

Интенсивный отбор подземных вод на относительно ограниченной территории, характеризующейся отрицательным водным балансом, во многих штатах привел к понижению уровней воды и оседанию земной поверхности. Например, в Калифорнии в районе Вентура еще в 1963 г. уровни воды были понижены на 5—18 м и местами оказались ниже уровня океана, что способствовало вторжению на материк морских вод, продвигавшихся со скоростью 300 м в год. В окрестностях Васко за 40 лет эксплуатации подземных вод уровни их снизились с 6 до 37 м от поверхности земли. В хлопководческом районе Керн подземную воду отбирают с глубины 18—150 м, и ежегодно уровень ее падает здесь на 4—9 м [Маслов, Нестеров, 1967]. За период с 1920 по 1968 г. на 144 м понизился уровень подземных вод в долине Солт Ривер. Число подобных примеров можно было бы увеличить, но и приведенных достаточно для вывода о том, что дальнейшее использование подземных вод в рассматриваемой области будет сталкиваться с большими трудностями. В связи с этим в перспективе намечается перебросить в долину Солт Ривер воды р. Колорадо, а в Высокие равнины — из р. Миссисипи.

По всем аридным зонам США к 1980 г. увеличился отбор подземных вод на орошение, а затем по большинству районов (кроме штатов Калифорния и Колумбия) — произошло снижение. В дальнейшем — к 2000 г. потребление воды на орошение достигнет максимума и на этом уровне будет держаться до 2020 г. По предположениям, большая часть этого объема будет покрываться за счет использования подземных вод. Помимо пресных подземных вод, для орошения земель широко будут привлекаться соленоватые и соленые подземные воды [Литвиненко, 1975].

Мексика — страна широко развитого орошаемого земледелия. По прогнозу, здесь в 1982 г. будет расходоваться на орошение 63 000 млн. м<sup>3</sup>, или 60,3% общего потребления воды на хозяйственные нужды. Выделяется три района, где подземные воды интенсивно используются для орошения, — Тихоокеанский, Атлантический и Мексиканского нагорья (табл. 3.6).

В середине 60-х годов на орошение тут использовалось около 33% эксплуатационных ресурсов подземных вод. Тихоокеанский район занимает первое место по их расходованию. Основные площади орошения находятся в бассейне р. Сонора, дельте р. Колорадо и на п-ове Калифорния. В Атлантическом районе использовалось около 10% запасов подземных вод, пригодных для орошения. Широко орошение земель подземными водами развито и в Мексиканском нагорье, где наиболее важным районом орошаемого земледелия является бассейн р. Ла-Лагуна. †

Интенсивное использование подземных вод на орошение земель, так же как и в западных штатах США, привело здесь к истощению их запасов, сработке уровней и к вторжению в водоносные горизонты соленых вод океана, в ряде случаев сопровождающемуся повышением минерализации поливных вод и засолением почв. Все это сдерживает дальнейшее развитие орошения за счет подземных вод и повышает стоимость их эксплуатации.

Таблица 3.6

Запасы подземных вод Мексики, пригодные для орошения  
[Литвиненко, 1975]

Гидрографический район	Общие запасы, км <sup>3</sup> /год	На орошение		
		км <sup>3</sup> /год	удельный вес района, %	% от общего объема стока
Тихоокеанский	96	15,4	55,4	16,0
Атлантический	118	4,1	14,6	3,5
Мексиканского нагорья	41	8,3	30,0	20,2
Всего . . . . .	255	27,8	100,0	11,0

Около половины территории Австралии занято аридными и полуаридными областями. По разным литературным источникам, на этом материке орошается 1340—1581 тыс. га земель, из них более 80% находятся в штатах Виктория и Новый Южный Уэльс. Наряду с поверхностными водами для орошения здесь широко используются подземные воды (рис. 3.1). С этой целью построено около 200 тыс. буровых колодцев и скважин глубиной до 2000 м и более. Общий суммарный дебит их достигает 1,6 млн. м<sup>3</sup> воды. Наиболее широко подземные воды применяются для орошения в штатах Квинсленд и Новый Южный Уэльс.

Как нет точного учета размеров земель, орошаемых подземными водами, так нет и точных количественных оценок использования их на орошение по всем странам мира. В начале 70-х годов считалось, что на эти цели забирается от 800 до 1300—1350 км<sup>3</sup>/год подземных вод, причем боль-

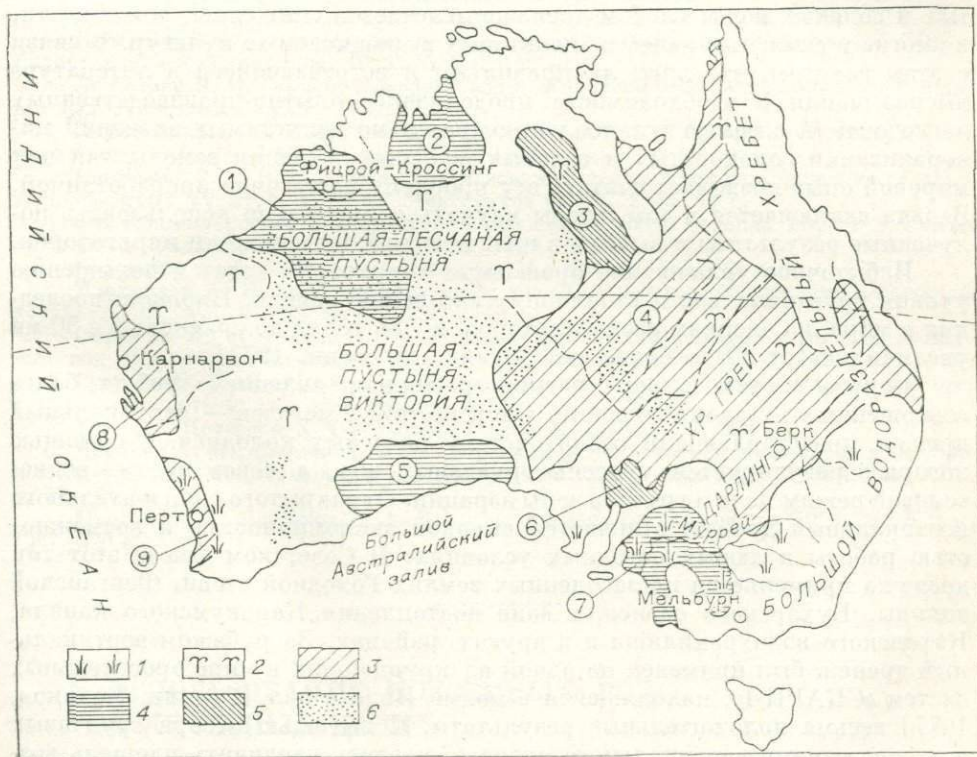


Рис. 3.1. Схема распределения основных артезианских бассейнов подземных вод и площадей орошения Австралии [Опыт..., 1979].

1 — площади орошения; 2 — пастбищное орошение; 3—4 — распространение артезианских вод; 3 — повсеместное, 4 — ограниченное; 5 — субартезианские бассейны; 6 — пустыни. Бассейны (цифры в кружках): 1 — Пустынный, 2 — Орд-Виктория, 3 — Баркли, 4 — Большой Артезианский, 5 — Юкла, 6 — Кразгой, 7 — Муррей, 8 — Карнарвон, 9 — Перт.

шая их часть, естественно, приходилась на страны с аридным и полуаридным климатом, в которых другие источники полива, как правило, отсутствуют. В настоящее время в связи с увеличившимися размерами орошаемых площадей расход подземных вод также, по-видимому, повысился.

Полив земель подземными водами применяется более чем в 20 странах мира, однако уровень использования этих вод в них различен. Наиболее интенсивно подземные воды на орошение используются в США, Мексике, Индии, Пакистане. В СССР подземными водами поливается лишь 2,5% обрабатываемых земель, что явно недостаточно и существенно ниже возможностей их использования.

Для орошения земель в большинстве стран используются главным образом грунтовые воды аллювиальных отложений речных долин, конусов выноса и делювиальных шлейфов межгорных впадин, воды краевых зон артезианских бассейнов, а в странах Северной Африки — и более глубоких частей последних. Подземные воды, формирующиеся в указанных условиях, обычно залегают неглубоко, характеризуются слабой концентрацией солей и свободным режимом и лишь в артезианских бассейнах Африканской Сахары залегают на больших глубинах, но, обладая высоким напором, достигают устьев скважин и свободно изливаются на поверхность земли.

Наряду с пресными подземными водами в странах аридной зоны для орошения земель, как отмечалось выше, часто используются солончатые и соленые подземные воды. Применение этих вод в зависимости от климатических, почвенных, геоморфологических и других природных особенностей орошаемых территорий дает, как правило, положительные результаты: урожайность земель при хорошей дренажности почв и промывном режиме орошения в большинстве случаев получается выше, чем при поливе пресными водами. Лишь при длительном использовании солончатых и соленых вод и слабом дренаже отмечается снижение урожайности, а иногда и снижение качества некоторых выращиваемых культур. В связи с этим заметим, что вряд ли правильны и встречающиеся в литературе высказывания о необходимости продолжения опытно-производственных исследований с целью установления предельно допустимых значений минерализации солончатых и соленых вод для орошения земель, так как мировой опыт позволяет считать эту проблему достаточно проработанной. Задача заключается в том, чтобы научиться правильно использовать полученные результаты и выводы в практической деятельности ирригаторов.

Избыточное увлажнение орошаемых территорий ведет к повышению уровня грунтовых вод и вторичному засолению земель. Площади последних в мире, по оценкам разных авторов, в 70-х годах по сравнению с 50-ми увеличились от 20 до более чем 50 млн. га [Зонн, 1977].

Борьба с этим широко распространенным явлением требует более совершенных методов орошения. Один из таких методов — вертикальный дренаж, представляющий собой систему насосных колодцев, с помощью которых регулируется уровень грунтовых вод, а через него — водно-солевой режим почв и грунтов зоны аэрации. От закрытого горизонтального вертикальный дренаж отличается высокой экономичностью и возможностью работы в любых погодных условиях. В Советском Союзе этот тип дренажа применяется на засоленных землях Голодной степи, Ферганской долины, Бухарского оазиса, в зоне подтопления Каракумского канала, Каховского водохранилища и в других районах. За рубежом вертикальный дренаж был применен на одной из крупнейших в мире оросительных систем «СКАРП-I», находящейся в пойме Инда и дал [Гуркин, Беляков, 1977] весьма положительные результаты. С помощью отбора грунтовых вод скважинами вертикального дренажа удалось увеличить площадь возделываемых земель на 40% и повысить производство сельскохозяйственных культур в три раза.

Второй метод — «капельное» орошение, о котором говорилось выше. Его применение может предупредить подъем уровня грунтовых вод и возможное засоление земель, а также уменьшить потери воды. В. А. Ковда

[1977] отмечает, что хотя этот метод и дорог, но позволяет получать очень высокие урожаи, в связи с чем за рубежом, в частности в США, приобретает все более широкое распространение.

Наряду с нормальной эксплуатацией подземных вод, употребляющихся на орошение, т. е. эксплуатацией, не сопровождающейся какими-либо изменениями режима, состава и других свойств этих вод, в некоторых районах земного шара, преимущественно аридных, вследствие интенсивного использования отмечается сработка их запасов, а в прибрежных районах подтягивание на материк соленых морских вод. При этом ухудшается качество поливной воды, а также оседает земная поверхность, что часто вызывает необходимость дорогостоящего переустройства системы водоподъема.

## ЛИТЕРАТУРА

- Буданов М. Ф. Влияние орошения минерализованными водами на почвы.— Тр. УкрНИИГиМ, 1956, вып. 77/3, с. 77—109.
- Булатов Р. В. К вопросу использования минерализованных вод для орошения земель Урала.— Тр. Свердлов. горн. ин-та, 1976, вып. 126, с. 44—47.
- Гуркин А. Я., Беляков В. М. Более интенсивно использовать подземные воды на орошение и обводнение земель.— Сборник научн. тр. Всес. произв. проект. объединения Союзводпроект, 1977, № 48, с. 122—126.
- Запарий М. П. Районирование СССР по условиям использования подземных вод для целей ирригации.— Тр. ВНИИ гидрогеол. и инж. геол., 1975, вып. 83, с. 107—125.
- Зонн И. С. Влияние орошения на природно-мелиоративные условия аридной зоны (на примере развивающихся и капиталистических стран).— Пробл. освоения пустынь, 1977, № 5, с. 13—24.
- Кац Д. М. Комплексное использование подземных и поверхностных вод для орошения.— Гидротехника и мелиорация, 1975, № 8, с. 29—34.
- Ковда В. А. Аридизация суши и борьба с засухой. М.: Наука, 1977. 272 с.
- Красильщиков Л. А. Орошение подземными водами в Азербайджанской ССР.— Гидротехника и мелиорация, 1975, № 8, с. 103—106.
- Легостаев В. М. Об использовании вод повышенной минерализации на орошение. М.; изд. Минсельхоз СССР, 1961. 99 с.
- Литвищенко В. С. Использование подземных вод для орошения в странах аридного климата. М.: изд. Минсельхоз СССР, 1975. 63 с.
- Нестерова Г. С. Возможность использования соленых вод для орошения сельскохозяйственных культур. М.: изд. Минсельхоз СССР, 1972. 99 с.
- Опыт комплексного использования подземных вод в странах мира с развитым орошаемым земледелием. Ташкент: Фан, 1979. 136 с.
- Орошение и осушение в странах мира. М.: Колос, 1975. 527 с.
- Плотников Н. И. Ресурсы подземных вод СССР и их использование в народном хозяйстве. М.: изд. ВСЕГИНГЕО, 1969. 159 с.
- Санни М. В., Цыганова К. Н. Об использовании соленоватых и соленых подземных вод для водоснабжения.— Гидротехника и мелиорация, 1975, № 11, с. 94—97.
- Супряга И. К. Использование слабоминерализованных дренажных вод для орошения.— Гидротехника и мелиорация, 1977, № 1, с. 65—71.
- Торн Д., Петерсон Х. Орошаемые земли. М.: ИЛ, 1952. 380 с.
- Черняев А. М., Сирман А. П. К вопросу об использовании шахтных вод для орошения.— В кн.: Мелиорация земель Урала. Вып. 2. Л.: изд. Минводхоз СССР, 1975, с. 77—81.
- Маслов Б. С., Нестеров Е. А. Вопросы орошения и осушения в США. М.: Колос, 1967. 320 с.

## 4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЛЕЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ

### 4.1. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Практическое использование подземных минеральных вод для лечебных целей началось в глубокой древности. Об этом говорят народные легенды и сказания, священные книги, летописи и трактаты древних уче-

ных. Подтверждают это и современные археологические раскопки. Достаточно сказать, что о применении минеральных вод в Древней Греции для лечения известно из эпических поэм Гомера, сложенных около 3 тыс. лет назад. Священные книги древних индусов свидетельствуют о купелях при храмах, в других — приводятся предания о Силоамской купели, озере Батесба близ Иерусалима и т. д.

В Крыму сохранились руины колодца, построенного 2 тыс. лет назад в период Боспорского царства, около которого находятся развалины древнегреческого храма бога врачевания Асклепия (Эскулапа). Остатки мраморных бассейнов периода Римской империи сохранились на курортах Венгрии, Румынии и Болгарии.

На заре истории человечества минеральные воды использовались стихийно, но уже Гиппократ (460—377 г. до н. э.) разработал методику применения минеральных вод. Он и Аристотель (384—322 г. до н. э.) много содействовали развитию курортного дела в Древней Греции. Еще большее развитие, чем у греков, получили курортология и бальнеология в Древнем Риме. Римляне — наследники культуры Древней Греции — строили купальни, бани — термы на минеральных водах в Риме, Помпее и других городах, а Г. Плиний Старший (I в. н. э.) разработал классификацию минеральных источников и методику лечения ими. В XIII—XVI вв. определенными успехов добилась тибетская медицина.

Вероятно, одним из старейших в Европе следует считать курорт Карлови-Вари (быв. Карлсбад), официальной датой открытия которого считается 1358 г. В 1546 г. опубликован труд известного саксонского естествоиспытателя Г. Агриколы (Бауэра), где дана развернутая классификация источников минеральных вод. Среди последних он выделял источники, содержащие соль, соду, квасцы, купорос, серу и битуминозный «сок». Со времен средневековья известны многие минеральные источники во Франции.

Основоположником строительства курортов в России стал Петр I, который после посещения Карлових-Вар принял непосредственное участие в создании в 1717 г. первого в России курорта Марциальные Воды (Карелия), организовал лечение на Сергиевских и Липецких минеральных водах. Одновременно с созданием курортов Петр I поручил своему штаб-лекару Шоберу искать целебные воды, а в 1719 г. опубликовал указ о «Дохтурских правилах», где, в частности, указывалось, как следует пользоваться марциальными водами.

В 1828 г. на базе соленых вод стал функционировать старейший курорт страны Старая Русса, действующий и в настоящее время. Систематическое изучение лечебных свойств подземных вод в России началось в конце XVIII — начале XIX в. и связано с именами таких крупных ученых, как М. В. Ломоносов, В. М. Севергин, П. Паллас, С. П. Крашенинников, Г. Абиx. Академик В. М. Севергин в 1809 г. обобщил материалы академических экспедиций XVIII в. по минеральным водам, выделил и описал 10 групп минеральных вод: 1 — известковые и селенитовые; 2 — щелочные или минеральную щелочную соль содержащие; 3 — горькие, содержащие горькую или глауберовую соль; 4 — квасцовые; 5 — соляные или поваренную соль содержащие; 6 — нефтяные; 7 — серные; 8 — купоросные; 9 — углекислые; 10 — теплые или теплицы.

Изучение лечебных вод в этот период происходило в основном под эгидой Академии наук. С 1719 по 1855 г. было опубликовано 163 сочинения, положивших начало отечественной курортологии. Особое влияние на развитие курортного дела в России оказало освоение минеральных вод Кавказа, который в 1803 г. по правительственному указу был признан лечебной местностью государственного значения.

В 1899 г. в Петербурге состоялся первый Всероссийский съезд деятелей климатологии, гидрологии и бальнеологии, имевший большое значение для изучения и использования лечебных минеральных вод. Закладывались научные основы учения о минеральных водах. В 1914 г. при

Донском политехническом институте впервые была организована кафедра минеральных вод и залежей целебных ископаемых.

Примечательно, что в этот же период во Франции Л. де Лоне [1899] опубликовал капитальную работу, обобщающую опыт французских исследователей по изучению минеральных вод, а в Лейпциге в 1916 г. вышло руководство (*Handbuch der Balneologie*) по бальнеологии, в написании которого принял участие известный немецкий гидрогеолог К. Кейльгак, давший сводку германских минеральных источников.

В России коренные изменения в деле развития курортов, использующих минеральные воды, произошли после Великой Октябрьской социалистической революции. До революции насчитывалось лишь 36 курортов. А. П. Стопневич [1920, с. 3—4], много сделавший для организации использования минеральных вод, очень образно писал: «Без преувеличения можно сказать, что курортное дело в России, как сказочная спящая царевна, ждет своего царевича, который должен разбудить ее и призвать к новой блестящей жизни». Он привел цитату из письма известного французского гидролога Ж. Франсуа к доктору Милютину в 1874 г.: «Четыре группы Кавказских минеральных вод вместе с соседними еще не эксплуатируемыми источниками представляют не только главные типы германских и вообще западно-европейских вод, как, например, Эмс, Мариенбад, Экс-ла-Шапель, Спа, Швальбах и др., но также и новые типы, напоминающие сульфатно-щелочные источники Карлсбада, сернисто-щелочные воды Люшона и Котере, хлористые серноокислые воды Пулхау и Цейдшутца (Богемия). Я решительно утверждаю, не боясь возражений, что Кавказ, который во многих отношениях может быть назван русскими Пиренеями, заключает в себе на сравнительно ограниченном пространстве разнообразие минеральных вод, не имеющее себе равного в Западной Европе».

В Советском Союзе в лечебных целях эксплуатируется более 500 месторождений минеральных вод, в том числе (на 1 января 1981 г.) курортами и санаториями — 273, местными бальнеолечебницами и профилакториями — 171 и заводами розлива — 139 [Иванов, 1982].

Усилению курортного строительства в Советском Союзе способствовал изданный 20 марта 1919 г. за подписью В. И. Ленина декрет «О лечебных местностях общегосударственного значения», содержащий следующие примечательные слова: «Лечебные местности или курорты, где бы таковые на территории РСФСР ни находились и кому бы ни принадлежали, со всеми сооружениями, строениями и движимостью, обслуживающими ранее курорт и находящимися на присоединенных к курорту землях, составляют собственность Республики и используются для лечебных целей...»\*. Уже в 1921 г. был созван первый съезд по курортному делу, а в 1926 г. создан Центральный институт курортологии и физиотерапии в Москве.

Особенно большой вклад в изучение лечебных минеральных вод внесли известные советские ученые-гидрогеологи Н. Н. Славянов, А. М. Овчинников, А. И. Огильви, Н. И. Толстихин, В. В. Иванов и др. Из зарубежных исследователей следует упомянуть Л. Арманда, Л. Грюнхута, А. Шеллера, Л. Морэ, Р. Кампе.

Более подробно история изучения минеральных, в том числе и лечебных, вод приводится в трудах А. М. Овчинникова [1963], Е. В. Посохова и Н. И. Толстихина [1977] и др.

#### 4.2. ОСНОВНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЛЕЧЕБНЫХ ВОД

Близкие к современным критериям оценки минеральных вод для отнесения их к лечебным разработаны Л. Грюнхутом в начале XX в. путем статистической обработки аналитических материалов по важнейшим во-

\* См.: Хронологическое собрание законов, указов Президиума Верховного Совета и Постановлений правительства РСФСР 1917—1928 гг., т. 1 М.: Госюриздат, 1959.

## Основные критерии оценки минеральных лечебных вод, принятые в СССР [по В. В. Иванову, Г. А. Невраеву, 1964]

Компонент	Нижний предел содержания	Воды
Общая минерализация вод	2,0 г/л	<2,0 — слабой минерализации
		2,0—5,0 — малой »
		5,0—10,0 — средней »
		10,0—35,0 — высокой »
		35,0—150,0 — рассольные
		>150,0 — крепкие рассольные
CO <sub>2</sub> своб (растворенная)	0,5 г/л	0,5—1,4 — слабоуглекислые
		1,4—2,5 — углекислые средней концентрации
		>2,5 — сильноуглекислые (выделяющие спонтанный CO <sub>2</sub> , «газирующие»)
H <sub>2</sub> S <sub>общ</sub> (H <sub>2</sub> S+HS <sup>-</sup> )	10 мг/л	10,0—50,0 — слабосульфидные
		50,0—100,0 — сульфидные средней концентрации
		100,0—250,0 — крепкие сульфидные
		250,0—500,0 — очень крепкие сульфидные
		>500,0 — ультракрепкие сульфидные (при pH < 6,5 — сероводородные, при pH 6,5—7,5 — сероводородно-гидросульфидные или гидросульфидно-сероводородные, при pH > 7,5 — гидросульфидные)
As	0,7 мг/л	0,7—5,0 — мышьяковистые
		5,0—10,0 — крепкие мышьяковистые
		>10,0 — очень крепкие мышьяковистые
Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup>	20 мг/л	20,0—40,0 — железистые
		40,0—100,0 — крепкие железистые
		>100,0 — очень крепкие железистые
Br	25 мг/л	Бромные
I	5 мг/л	Иодные
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> +HSiO <sub>3</sub>	50 мг/л	Кремнистые
Rn	5 нКи/л (14 ед. Махе)	5—20 нКи/л (14—55 ед. Махе) — очень слаборадоновые
		20—40 нКи/л (55—110 ед. Махе) — слаборадоновые
		40—200 нКи/л (110—550 ед. Махе) — радоновые средней концентрации
		>200 нКи/л (>550 ед. Махе) — высокорадонные
pH	—	<3—5 — сильно кислые
		3,5—5,5 — кислые
		5,5—6,8 — слабокислые
		6,8—7,2 — нейтральные
		7,2—8,5 — слабощелочные
		>8,5 — щелочные
T, °C	—	<20° — холодные
		20—35° — теплые (слаботермальные)
		35—42° — горячие (термальные)
		>42° — очень горячие (высокотермальные)

дам Германии и Австро-Венгрии. Им же дано определение минеральных лечебных вод, утвержденное в 1911 г. Международной бальнеохимической комиссией (Наугеймское постановление): «Минеральной водой может называться вода, в которой содержание твердых растворенных веществ составляет более 1 г/л, либо отличающаяся от обычных вод содержанием хотя бы в малых количествах углекислого газа или других ценных с фармакологической точки зрения ингредиентов, или, наконец, воды высокой температуры (более 20°C)».

В настоящее время минеральными лечебными водами принято считать только те воды, использование которых возможно в баль-

неологических или питьевых целях. К таким водам относятся все «...природные воды, содержащие в повышенных концентрациях те или иные минеральные (реже органические) компоненты и газы и (или) обладающие какими-либо специфическими физическими свойствами (радиоактивностью, активной реакцией и др.), благодаря которым эти воды оказывают на организм человека лечебное действие» [Иванов, 1982]. При этом все лечебные воды подразделяются на две группы — питьевые (лечебные и лечебно-столовые) и бальнеологические (наружное применение: ванны, душ и т. д.).

В соответствии с приведенным определением в СССР разработаны и внедрены в практику следующие критерии оценки минеральных лечебных вод (табл. 4.1).

Большое лечебное значение имеет микроэлементный состав минеральных вод. На основании биологических, экспериментальных и клинических исследований выделяются следующие основные группы элементов:

1) с выраженным фармакологическим действием — железо, кобальт, мышьяк, йод, бор, литий, стронций;

2) с точно установленным значением в обменных, главным образом в гормональных и ферментативных, процессах — йод, железо, медь, молибден, цинк, кобальт, марганец; возможно, никель, барий, кадмий [Ковальский, 1960];

3) токсичные для человека — мышьяк, свинец, селен, ртуть, ванадий, фтор;

4) биологическая роль не установлена — титан, цирконий, иридий, цезий, германий и др.

Полученные данные позволили установить, в первую очередь для минеральных вод внутреннего применения [ГОСТ 13273—73. Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые], предельно допустимые концентрации (ПДК) для следующих элементов (мг/л):

Ванадий	0,4	Мышьяк	3,0 (лечебные воды)
Ртуть	0,02		1,5 (лечебно-столовые)
Свинец	0,3	Фтор	8,0 (лечебные воды)
Селен	0,05		5,0 (лечебно-столовые)
Хром	0,5		
Радий	$5,10^{-7}$	Органические вещества	
Уран	0,5 *		30,0 (лечебные воды)
Фенолы	0,001		10,0 (лечебно-столовые)

В. В. Иванов и Г. А. Невраев [1964] в основу классификации минеральных лечебных вод положили комплекс количественных показателей и признаков (общая минерализация, ионный и газовый состав минеральных вод, их газонасыщенность, содержание в водах терапевтически активных компонентов, радиоактивность воды, pH, температура). В соответствии с этой классификацией и опытом лечебного использования все природные минеральные воды по химическому составу, физическим свойствам и лечебному действию подразделяются на следующие группы: 1) без специфических компонентов и свойств; 2) углекислые; 3) сульфидные; 4) железистые, мышьяковистые и «полиметалльные» с повышенным содержанием нескольких металлов (Mn, Cu, Zn, Pb, Al и др.); 5) бромные, иодные и подобромные; 6) радоновые (радиоактивные); 7) кремнистые термальные; 8) слабоминерализованные — с высоким содержанием органических веществ (типа Нафтуси и др.); 9) борсодержащие.

Следует сказать, что не все предложенные В. В. Ивановым и Г. А. Невраевым критерии оценки минеральных лечебных вод, так же как и наименования и подразделения, однозначны и общеприняты. Прежде всего вызывает возражение термин «воды без специфических компонентов и свойств», а также отнесение к минеральным вод с минимальной минерализацией 2 г/л.

\* В. В. Иванов [1982] считает целесообразным увеличить ПДК урана до 2,0 мг/л.

В ГОСТе 18—107—73 «Воды минеральные природные столовые», утвержденном в 1973 г., к минеральным относят воды с минерализацией от 1 до 2 г/л. Рассматривая лечебные воды без специфических компонентов и свойств, Е. В. Посохов и Н. И. Толстихин [1977] относят к этой группе холодные и термальные воды с минерализацией от 1—2 г/л и более. Кроме того, пороговая норма 1 г/л, согласно ГОСТу 17403 — 72 «Гидрохимия. Основные понятия. Термины и определения», отделяет пресные воды от соленых. Все это заставило в настоящей работе принять градацию минеральных лечебных вод по степени минерализации, начиная с 1 г/л, а неопределенный термин «воды без специфических компонентов и свойств», к которым относятся широко распространенные соленые воды и рассолы, заменить на «минеральные воды, лечебное воздействие которых определяется основным ионным составом, минерализацией и (или) физическими свойствами».

Употребляемый в классификации В. В. Иванова и Г. А. Невраева термин *сульфидные* минеральные воды, широко использующийся в поисковой и рудничной геологии для характеристики природных соединений серы с металлами так называемых сульфидных руд, заменен в этой связи на термин *сероводородные* воды.

По классификации В. В. Иванова и Г. А. Невраева, нередко одни и те же минеральные лечебные воды попадают одновременно в различные бальнеологические группы, как это происходит, например, в случае ее применения к минеральным водам Сибирской платформы. Так, сероводородно-бромный хлоридный натриевый рассол Новонкутского месторождения в Иркутской области, имеющий минерализацию 60 г/л и содержащий 145 мг/л брома и 249 мг/л сероводорода, может быть отнесен, по крайней мере, к двум группам.

Учитывая все сказанное, авторы нашли целесообразным соленые воды и рассолы, бальнеологическое воздействие которых определяется главным образом ионным составом, минерализацией и (или) физическими свойствами, выделить в самостоятельную группу минеральных вод, подразделяющуюся на основании преобладающего ионно-солевого комплекса на классы, а с учетом присутствия биологических компонентов, определяющих лечебные свойства (сероводород, бром, иод, бор и т. д.), — на типы. Такая систематизация была сделана для минеральных вод Сибирской платформы [Ломоносов, Пиннекер, 1969], но основные ее принципы и критерии могут быть использованы для систематизации минеральных вод других платформенных областей и артезианских бассейнов.

Все сказанное выше дает основание выделить следующие бальнеологические группы минеральных лечебных вод: 1) соленые воды и рассолы; 2) углекислые; 3) радоновые; 4) кремнистые термальные; 5) железистые, мышьяковистые и «полиметалльные», т. е. с повышенным содержанием металлов (Mn, Cu, Zn, Pb, Al и др.); 6) слабоминерализованные с высоким содержанием органических веществ (типа Нафтуси).

#### 4.3. ОСНОВНЫЕ БАЛЬНЕОЛОГИЧЕСКИЕ ГРУППЫ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

##### 4.3.1. Соленые воды и рассолы

Рассматриваемые минеральные воды имеют чрезвычайно большой диапазон минерализации — от 1 г/л до предельно насыщенных солями рассолов (500—600 г/л). Поскольку воды с очень высокой минерализацией, превышающей 150 г/л, употреблять в естественном неразбавленном виде для лечебных процедур нельзя, мы их здесь не рассматриваем (см. главу 5).

Газовый состав вод представлен в основном азотом и метаном, в ионном составе преобладают  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ , реже  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Минеральные воды этой группы распространены на всех континентах, будучи приуро-

ченными к платформенным и межгорным артезианским бассейнам, в строении которых участвуют мощные толщии осадочных пород. Особенно много их в артезианских бассейнах, сложенных соленосными отложениями.

Минеральные лечебные соленые воды и рассолы представлены разнообразными химическими классами\*. Распределение их в вертикальном разрезе соответствует в общем плане вертикальной гидрогеохимической зональности, проявляющейся для большинства артезианских бассейнов в закономерной смене маломинерализованных гидрокарбонатных и сульфатных вод верхних и окраинных частей бассейнов сульфатно-хлоридными и затем хлоридными водами различной минерализации в их глубоких частях. Соответственно происходит и смена газового состава вод от азотного в верхних горизонтах и на периферии бассейнов до азотно-метанового в глубоких частях структур.

**Сульфатные воды** различного катионного состава с минерализацией до 5, реже 10 г/л широко распространены в артезианских бассейнах Русской и Сибирской платформ. Известны они также в Средней Азии, Западной Сибири, на Урале и Кавказе (рис. 4.1).

Ионный состав сульфатных вод связан с загипсованностью пород, реже с сульфидным оруденением. По катионному составу выделяют следующие подклассы: кальциевый (краинский), магниево-кальциевый (ашхабадский), натриево-магниево-кальциевый (московский) и магниевонатриевый (баталинский). Типичными представителями таких вод являются воды курорта Краинка, санатория «Дорохово», Московская минеральная вода.

Рассматриваемые воды широко применяются на курортах и в санаториях центральных районов европейской части СССР (курорты Краинка, Нижнеивкино, Балдоне, Ликенай и др.).

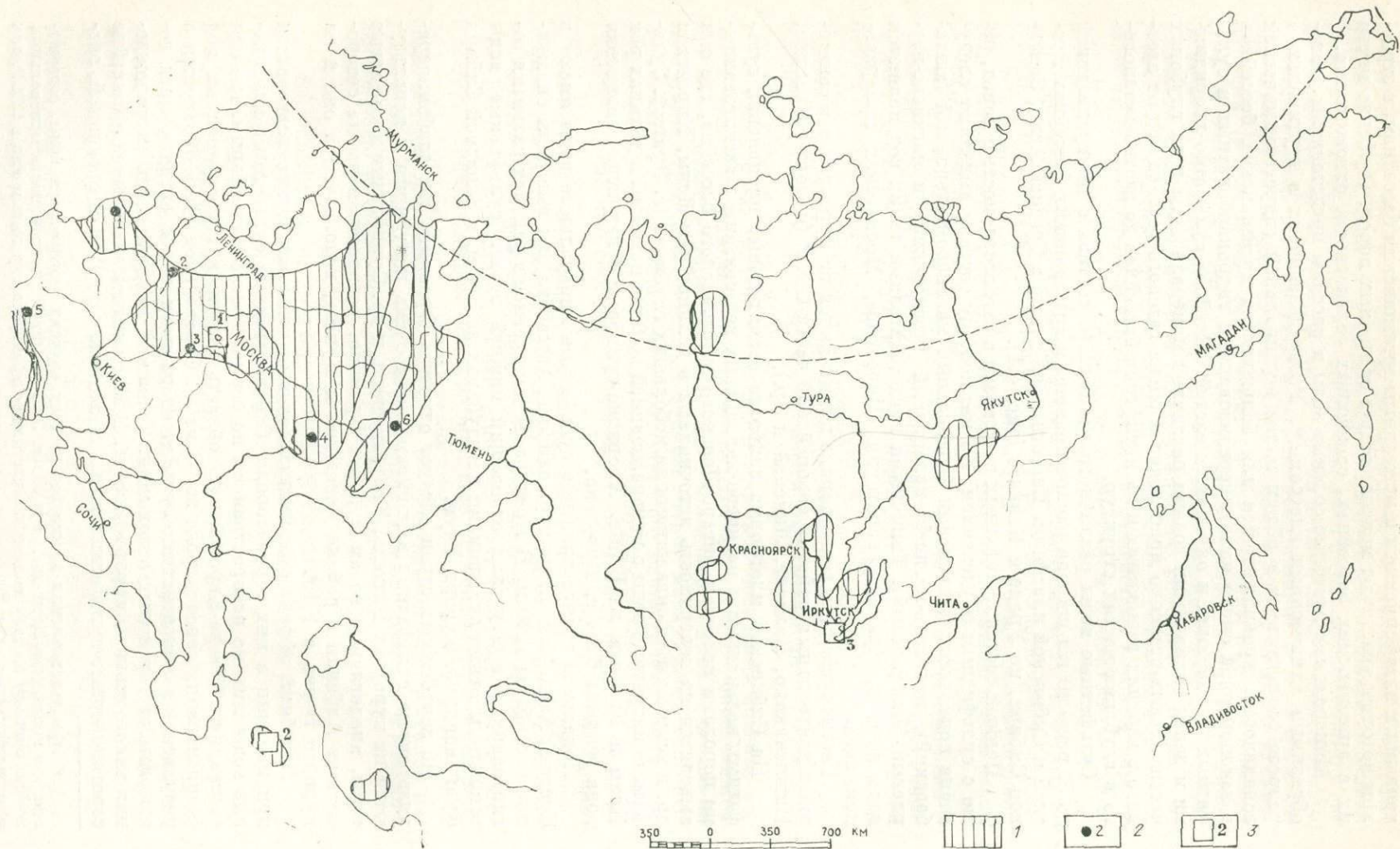
На Сибирской платформе наиболее значительные проявления сульфатных кальциевых и магниево-кальциевых вод связаны с загипсованными породами палеозоя Ангаро-Ленского артезианского бассейна, где они выводятся на поверхность источниками в долинах рек Лены, Киренги и др. и вскрываются скважинами на небольших глубинах (г. Братск). Сульфатные натриевые воды с минерализацией до 6 г/л известны в долинах рек Илим и Киренга на БАМе. Хлоридно-сульфатная натриево-кальциевая вода вскрыта близ г. Иркутска.

Локальное распространение сульфатные минеральные воды имеют в Средней Азии. Так, например, около г. Ашхабада они выведены скважиной с глубины 1000 м. В Предуральском прогибе в районах развития загипсованных кунгурских отложений нижней перми сульфатные воды вскрыты многими скважинами на глубинах до 300 м, в Западной Сибири функционирует курорт Учум.

Из зарубежных стран следует отметить Францию, где слабоминерализованные сульфатные кальциевые воды очень популярны и используются на курортах Виттель, Контраксевиль и др. Сульфатные кальциевые воды, аналогичные водам курорта Краинка, распространены на северо-востоке Албании в районе Пешкопия и Кукеса, используются они и на курорте Берка в ГДР.

Лечебный эффект сульфатных соленых вод значительно повышается при наличии в них сероводорода. Сероводородные сульфатные кальциевые воды широко распространены на севере Русской платформы, где они составляют Северо-Европейскую область развития сероводородных вод (концентрация сероводорода до 50 мг/л). Сероводород здесь образуется в результате взаимодействия сульфатсодержащих вод с органическим веществом четвертичных отложений. Типичный представитель месторождения такого типа — курорт Кемери. В Московском артезианском бассейне сероводородные сульфатные воды, связанные с торфяной органикой, экс-

\* При установлении класса вод во всех случаях учитываются поны, содержащиеся в количестве 20 мг-экв. % и более. Этот критерий разграничения минеральных вод по понному составу является в настоящее время общепринятым как в СССР, так и в других странах мира.



платуируются на известном курорте Хилово (Псковская обл.), в г. Великие Луки и др. Сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные сероводородные воды с минерализацией до 5 г/л и содержанием сероводорода порядка 85—240 мг/л развиты в Предуралье. Типичными представителями их являются воды курортов Сергиевские Минеральные Воды и Ключи.

В Прикарпатской области сосредоточены главнейшие месторождения сероводородных вод Украины, на базе которых действуют современные курорты. Состав вод большей частью сульфатный кальциевый, реже натриево-кальциевый малой минерализации; содержание сероводорода варьирует от 25 до 176 мг/л. Крепкие сероводородные воды (176 мг/л) используются на курорте Немиров. К юго-востоку от него издавна существует курорт Шкло, который эксплуатирует воду с содержанием сероводорода около 32 мг/л. Воды со средней концентрацией сероводорода используются курортами Любень-Великий, Черче, Синяк. Содержание сероводорода в них 60—90 мг/л.

На Северном Кавказе известно Тамисское месторождение сероводородных вод (Северная Осетия), где с глубины около 1000 м выведены азотно-метановые сульфатные магниевые-кальциевые воды с минерализацией до 5 г/л и содержанием сероводорода до 226 мг/л.

В зависимости от содержания сероводорода выделяются следующие типы сульфатных сероводородных вод: хировский (10—50 мг/л), сергиевский (50—100 мг/л) и немировский (100—250 мг/л).

**Хлоридные воды**, имеющие пестрый (преимущественно натриевый) катионный состав и различную минерализацию (от 1—5 до 150 г/л и более), очень широко распространены на территории СССР (рис. 4.2).

Рассмотрим соленые воды (до 35 г/л), в составе которых кроме хлора достаточно много сульфатов.

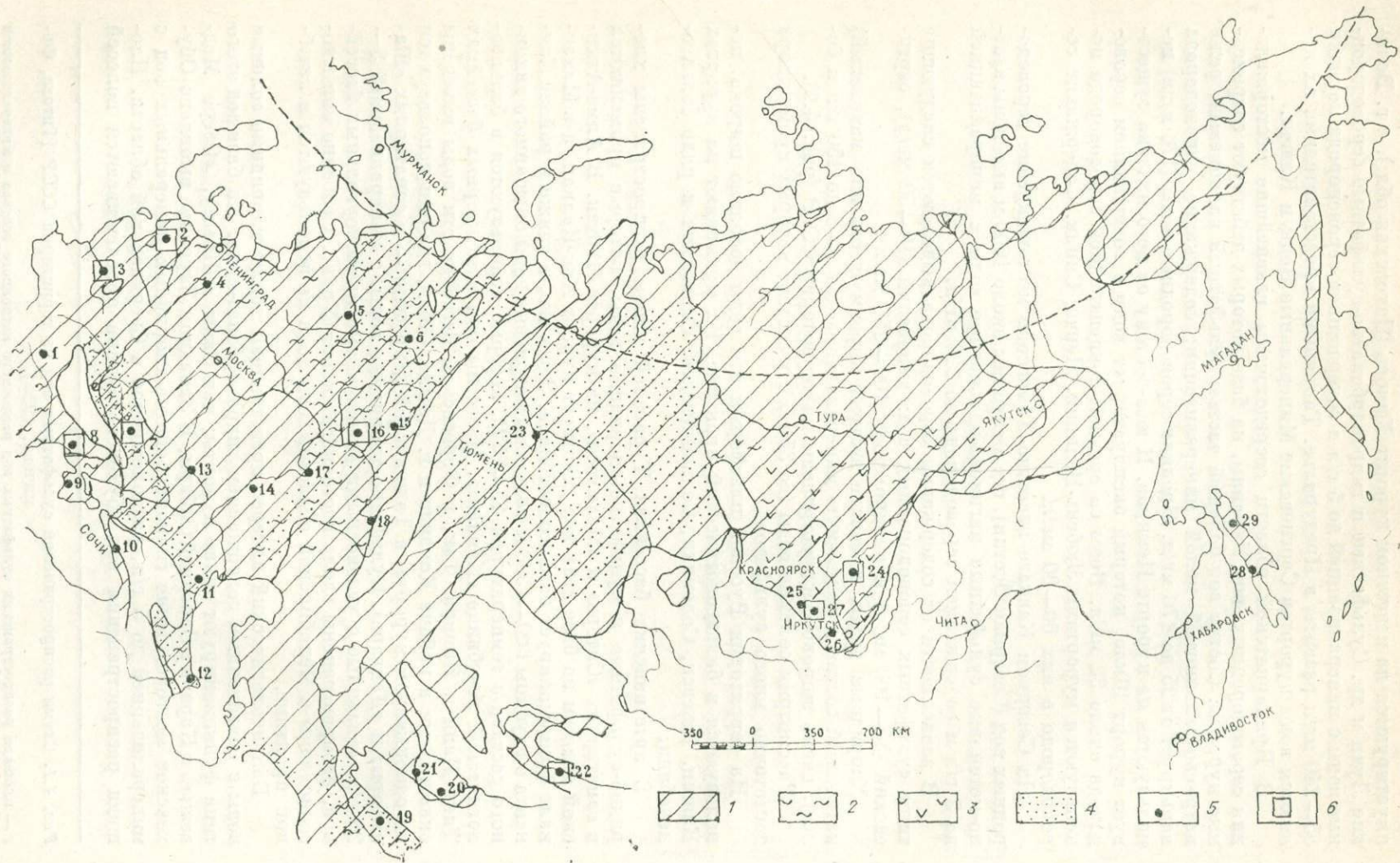
На территории Русской платформы эти воды довольно широко используются в бальнеологической практике. Их применяют на курортах Кашица, Ижевск, Солониха, Сольвычегодск, Солиталич и ряде бальнеолечебниц.

В артезианских бассейнах Туранской плиты распространены хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные воды, которые применяются в санаториях «Ситора» и «Мохихоса», на курорте Чартак. В Алма-Атинской области на базе этих вод действует курорт Аяк-Калкан, а в Махачкале функционирует бальнеолечебница. Здесь же, а также в районе Каякента с глубины 600—1500 м получены натриевые воды смешанного анионного состава с температурой 45—65°C, которые используются в бальнеологической лечебнице «Каякент». Известны они в межгорных бассейнах Тянь-Шаня и Памира. Так, в Ферганском бассейне эти воды выведены скважинами в районе Коканда и г. Джалал-Абад, где они используются на одноименном курорте, в Таджикской депрессии — в санаториях «Шамбары» и «Дангара». Сульфатно-хлоридные воды, с минерализацией 3—20 г/л, связанные с угленосными отложениями каменноугольных бассейнов, распространены вдоль восточного склона Урала. Особенно они многочисленны в Челябинской области, хотя пока не используются в лечебной практике.

Бальнеологический интерес представляют также хлоридные соленые воды с повышенным содержанием гидрокарбонат-иона. На базе вод этого типа функционируют такие курорты, как Саки в Крыму, «Озеро Медвежье» и Карачи в Западной Сибири. В Западном Зауралье выявлено Обуховское месторождение гидрокарбонатно-хлоридных минеральных вод с минерализацией до 5 г/л, расположенное в Свердловской области. Площади распространения вод обуховского типа прослеживаются полосой

Рис. 4.1. Схема распространения сульфатных вод на территории СССР [Титова, Фомичева, 1980].

1 — площади распространения сульфатных вод различного катионного состава с минерализацией от 2 до 5, реже до 35 г/л; 2 — основные здравницы (1 — Кемери, 2 — Хилово, 3 — Крайна, 4 — Сергиевские Минеральные Воды, 5 — Немиров, 6 — Ключи); 3 — основные заводы розлива (1 — Москва, 2 — Ашхабад, 3 — Иркутск).



## Хлоридные минеральные воды и рассолы

Гидрохимический класс	Тип	Ионный состав, экв. %	Минерализация, г/л	Характерные месторождения
Сложный многокомпонентного состава	Махачкалинский	SO <sub>4</sub> 30—60, HCO <sub>3</sub> до 40; Cl до 60	4—7 4—5	
	Тбилисский	Cl > 90, Na > 60, Ca > 30		
Хлоридный с сульфатами (сульфатно-хлоридный) натриевый и кальциево-натриевый	Каякентский	HCO <sub>3</sub> > 30, Cl > 30, SO <sub>4</sub> > 30	2—3	Липецк
	Феодосийский	SO <sub>4</sub> > 45, Ca > 30, Na > 70	3—5	
	Сольвычегодский	Cl 40—75, SO <sub>4</sub> 25—60, Na 65—90	5—25	Кашин-II, Шаамбары
	Солигаличский	Cl 70—80, SO <sub>4</sub> 20—30, Na 65—85	15—35	Нарочь, Солониха
Хлоридный натриевый	Миргородский	Cl 80—98, Na 75—95	5—10	Омск, Хаватаг
	Нижне-Сергинский			Кирилловка, Джалал-Абад
	Евпаторийский			Рометан
	Минский			Красноусольск, Ишим
Хлоридные натриевые рассолы	Ростовский		35—75	Бердянск, Усолье, Зименка, Нижнее Ивкно
	Сереговский	Cl > 90, Na > 75	75—150	Иваново, Зеленый городок, Пржевальск
	Боенский		> 150 (до 270)	Кунцево, Карачарово, Кашин-III, Моршин (Магдаллина), Палан-Таш
Хлоридный кальциево-натриевый и сложного состава	Пярусский	Cl 80—99, Na 45—70, Ca 20—50	3—10	Кингисепп, Валмиера, Ликеный, Личи, Друскининкай, Кемери
	Старо-Русский	Cl 80—90, Na 50—60, Mg 20—25, Ca 20—25	5—10	Тотьма, Бириштонас
	Бобруйский	Cl > 85, Na 55—70, Ca > 20	15—35	Паланга

шириной в несколько километров западнее линии Березово — Туринск — Талица.

Соленые воды с абсолютным преобладанием хлора эксплуатируются очень широко в европейской части СССР. Здесь расположены известные курорты Миргород, Евпатория, Красноусольск, Пяру, Друскининкай, Бириштонас, Паланга, Старая Русса (табл. 4.2).

Рис. 4.2. Схема распространения хлоридных, преимущественно натриевых, соленых вод и рассолов на территории СССР (по В. В. Иванову, А. М. Овчинникову, Л. А. Яроцкому, И. К. Зайцеву, Н. И. Толстихину, Е. В. Посохову).

1—4 — площади распространения соленых вод и рассолов: 1 — хлоридных, преимущественно натриевых, 2 — сероводородных, 3 — бромных, 4 — подбромных; 5 — основные здравницы (1 — Моршин, 2 — Вальмиер, 3 — Бириштонас, 4 — Старая Русса, 5 — Солониха, 6 — Серегово, 7 — Миргород, 8 — Куляник, 9 — Евпатория, 10 — Мацеста, 11 — Толчи, 12 — Сураханы, 13 — Белая Горка, 14 — Чапаевские Минеральные Воды, 15 — Усть-Качка, 16 — Ижевские Минеральные Воды, 17 — Куйбышев, 18 — Красноусольск, 19 — Кызыл-Тумшук, 20 — Чимшон, 21 — Чартак, 22 — Алма-Ата (Аяк-Калакан), 23 — Ханты-Мансийск, 24 — Усть-Кут, 25 — Усолье-Сибирское, 26 — Иркутск, курорт «Ангара», 27 — Ангарск, 28 — Лапатинские, 29 — Дагинские); 6 — основные заводы розлива.

На территории Сибирской платформы многочисленные источники, выводящие соленые хлоридные натриевые воды, разгружаются по Лене, Ангаре, Нижней и Подкаменной Тунгуске и их притокам.

Еще большим распространением пользуются хлоридные натриевые рассолы с минерализацией 35 г/л и более. В европейской части Советского Союза они залегают в основном на глубинах свыше 250—300 м и связаны с породами различного возраста и состава. Лечебное использование рассолов, несмотря на их широкое распространение, довольно ограничено — бальнеолечебницы в Москве и Иванове, курорты Моршин (Магдалина), Кашин III и др.

Рассолы хлоридного натриевого состава можно вскрыть скважинами почти всюду на Сибирской платформе. Более детально они изучены в пределах Ангаро-Ленского артезианского бассейна [Шиннекер, 1966]. Рассолы с минерализацией до 150 г/л здесь выводятся многими источниками и скважинами и приурочены к верхней части осадочного чехла платформы. Широкой известностью, например, пользуется старейший курорт Восточной Сибири — Усолье-Сибирское. В табл. 4.2 приводится систематизация наиболее характерных представителей рассматриваемых минеральных вод, большая часть которых применяется в санаторно-курортных и лечебно-профилактических учреждениях.

Лечебный эффект хлоридных натриевых вод значительно увеличивается в случае присутствия в них сероводорода, брома и других биологически активных компонентов.

Хлоридные натриевые сероводородные воды широко распространены в артезианских бассейнах, примыкающих к Предуральскому прогибу, и пространственно связаны с самой обширной в Советском Союзе Волго-Уральской областью сероводородных вод [Плотникова, 1981].

В Волго-Уральской области выявлены месторождения сероводородных вод с очень высокой концентрацией сероводорода до 1000 мг/л и более (Отрадное, Оренбург, Усть-Качка, Красноусольск, Краснокамск, Похвистнево). В этом районе функционирует курорт Ключи, хлоридно-сульфатные лечебные воды которого содержат до 150—200 мг/л сероводорода.

Сероводородные хлоридные натриевые рассолы известны на западе Русской платформы. Диапазон их минерализации от 20 до 120 г/л, а суммарное содержание сероводорода достигает 30—60 мг/л (Нестерово, Великие Мосты).

На Сибирской платформе эти дефицитные в бальнеологической практике лечебные воды широко развиты в южной части Ангаро-Ленского бассейна. Представлены они рассолами хлоридного натриевого состава с минерализацией от 35 до 300 г/л и содержанием сероводорода от низких до исключительно высоких количеств. Рассолы с минерализацией 47—63 г/л и низкой концентрацией сероводорода (до 20—25 мг/л) вскрываются скважинами в ряде пунктов (Иркутск, Новое Усолье) на глубине 600—900 м. Эти воды используют на курорте «Ангара» и в Иркутской городской больнице. Рассолы с высоким содержанием сероводорода приурочены к карбонатным соленосным отложениям нижнего кембрия и залегают на глубинах от 425 до 950 м. Известным представителем этих вод являются сероводородные рассолы района Нукуты, минерализация которых составляет 70—80 г/л, а содержание сероводорода — 250 мг/л. Нукутские воды имеют большое значение для бальнеологии. В последние годы разведочными работами в данном районе установлено, что эксплуатационные запасы этих вод достаточны для строительства бальнеологического курорта («Сибирская Мацеста»).

Из месторождений очень крепких сероводородных вод хлоридного кальциево-натриевого состава с минерализацией до 10 г/л можно назвать Галгинское (Дагестан), где концентрация сероводорода достигает 500—700 мг/л.

В более молодых отложениях сероводородные воды известны в Крымско-Кавказской области. Здесь они представлены гидрокарбонатно-хло-

## Характеристика сероводородных хлоридных минеральных вод СССР

Подгруппа вод	Содержание $H_2S + HS^-$ , мг/л	Тип воды	Минерализация, г/л	Ионный состав, экв. %	Характерные месторождения
Слабосероводородные	10—50	Арчманский	До 3	$SO_4$ 35—85, Cl 30—45, Na 25—60, Ca 20—35	Нукуты, Тбилиси, Шкло, Щербинцы
		Серноводский	До 5	$HCO_3$ 25—70, Cl 20—65, Na 95—99	Леушены
		Унгенский	До 10	$SO_4 > 45$ , Cl $> 35$ , Na $> 90$	Сивяк, Гагра
		Сухумский	2—15	Cl 70—98, Na 60—95	Цанши, Ейск, Керчь, Чапаево, Ангара, Кагул, Куйбышев
		Красноусольский	35—70	Cl $> 90$ , Na 70—99	
Среднесероводородные	50—100	Псекупский	До 2	$HCO_3$ 30—60, Cl 30—50, Na 50—98	Октомбери, Кумагорск, Ахалдаба
		Ключевской	2—15	Cl 20—75, $SO_4$ 20—70, Na 45—85, Ca 20—35	Белая Речка, Сольвычегодск, Кызыл-Тумшук
		Менджи	10—15	Cl 75—98, Na 70—95	Сурахань, Затеречный
		Октябрьский	30—70	Cl 70—75, Na $> 90$ , $SO_4$ 25—30	
		Нукутский Кизлярский	50—150 >200	Cl $> 90$ , Na $> 80$ Cl $> 90$ , Na $> 75$	
Крепкие сероводородные	100—250	Каякентский	До 5	$HCO_3$ 35—60, Cl 30—50, Na 45—70, Ca, Mg 25—35	
		Старомацестинский	10—15	Cl $> 70$ , Na $> 70$	
		Шиховский	15—35	Cl 55—95, $HCO_3$ 25—40, Na $> 90$	
		Нукутский	35—100	Cl $> 85$ , Na $> 80$	
		Чимпонский	До 10	Cl 65—85, $HCO_3$ 20—27, Na 80—90	Брусница
Очень крепкие сероводородные	250—500	Чокракский	10—35	Cl 40—99, $SO_4$ 20—25	—
		Ново-Мацестинский	15—45	Cl 85—99, Na 75—85	Мамайка, Хоста, Кудепста
		Усть-Качкинский	75	Cl 90—99, Na 85—95	Гаурдак
Сверхкрепкие сероводородные	>500	Талгинский	До 10	Cl 70, Na 65, Ca 70	—
		Похвистневский	75	Cl 85—99, Na 80—95	Краснокамск, Ключи, Отрадное

ридными и хлоридными натриевыми водами и интенсивно используются в бальнеологической практике. Гидрокарбонатно-хлоридные воды отличаются невысокой (до 5 г/л) минерализацией, содержанием сероводорода до 120 мг/л и повышенной температурой (от 40 до 67°C). Наиболее крупными являются Псекупское и Серноводское месторождения, на базе которых соответственно функционируют курорты Горячий Ключ (Краснодарский край) и Серноводск (Чечено-Ингушская АССР). Хлоридные натриевые, реже кальциево-натриевые воды со сложным газовым составом ( $CH_4$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ) характеризуются минерализацией от 5 до 35 г/л, часто вы-

сокой температурой (до 40—65°C) и широким диапазоном содержания сероводорода (от 25 до 200 мг/л).

Крупнейшее месторождение данного типа сероводородных вод в СССР — Сочинское. В настоящее время оно разведано на четырех участках (протяженность более 30 км) — в Мацесте, Хосте, Кудепсте, Мамайке. На базе этого месторождения функционирует крупнейший в нашей стране бальнеологический курорт Сочи — Мацеста. Глубина залегания лечебных вод превышает 1000 м. Основной тип вод, на базе которого действуют многочисленные здравницы курорта Сочи — Мацеста, представлен собственно мацестинскими водами, обладающими хлоридным натриевым составом, широким диапазоном минерализации (4—26 г/л) и содержанием сероводорода от 50—100 до 250 мг/л. Температура воды не превышает 18—28°C. Работы, проведенные в последние годы на Сочинском месторождении [Арутюнянц и др., 1977], позволили выявить новые, ранее неизвестные типы очень крепких и крепких сероводородных термальных и высокотермальных вод на Мамайском участке, в Кудепсте и Хосте. В первом случае это хлоридные натриевые рассолы (минерализация 39—41 г/л), вскрытые скважинами на глубине 3000—3300 м с концентрацией сероводорода до 400—450 мг/л и температурой на выходе 56—67°C. В Кудепсте в северной части участка выявлены весьма крепкие (с содержанием сероводорода более 650 мг/л) хлоридные натриевые термальные воды с минерализацией 8—9 г/л.

Кроме Сочи-Мацестинского месторождения сероводородных вод, в Крымско-Кавказской области имеется целый ряд менее значительных проявлений данного типа, также использующихся для лечебных целей. Так, в Сухуми применяются местной бальнеолечебницей слабосероводородные (до 30—40 мг/л) воды с минерализацией 25—30 г/л. Аналогичные воды, но с меньшей минерализацией и содержанием сероводорода до 65 мг/л используются курортом Менджи. В Восточном Предкавказье на курорте Нальчик применяются (наряду с другими типами лечебных вод) сероводородные сульфатно-хлоридные воды.

В Средней Азии благоприятные условия для формирования сероводородных вод имеются в краевых частях ряда артезианских бассейнов, образующих Афгано-Таджикскую область сероводородных вод, в Ферганском артезианском бассейне и в пределах Гиссарской гидрогеологической складчатой области.

Минеральные воды широко используются местными санаторно-курортными и лечебными учреждениями. Месторождения, имеющие достаточно большие запасы (например, Лючоб в Таджикской ССР), перспективны для организации крупных курортов. На базе месторождения Чимион создается первый в Средней Азии крупный курорт, использующий сероводородные воды («Узбекская Мацеста») и т. д. (табл. 4.3).

Близкие к мацестинским сероводородные (до 400 мг/л) воды распространены и в Западной Европе. В Албании воды этого типа известны в районе Селеницы и в центре страны, где на их базе создан курорт Лиджа. В Румынии сероводородные соленые воды известны на курортах Кемешти, Олэнешти, в ГДР на курортах Франкенхаузен, Кезен и др.

К группе минеральных лечебных соленых вод и рассолов относятся также бромные, йодобромные и йодные воды, которые используются в лечебных целях как для наружного, так и для внутреннего употребления (табл. 4.4). Лечебными питьевыми бромными и йодобромными водами считаются воды, которые по своей общей минерализации пригодны для приема внутрь или в случае разбавления их пресными водами (до 10—15 г/л) сохраняют кондиционное содержание брома (>25 мг/л) и йода (>5 мг/л). Наиболее часто они обнаруживаются среди метановых хлоридных вод. Среди азотных бромные воды встречаются реже и, как правило, обладают более низкой концентрацией брома, что позволяет использовать их в ряде случаев без разбавления. Азотные йодные воды в природе не известны.

Области распространения рассматриваемых вод в основном совпадают с областями развития хлоридных вод средней и высокой минерализации,

## Бромные, йодобромные и йодные соленые воды и рассолы

Подгруппа	Тип	Биологически активные компоненты, мг/л	Минерализация, г/л	Характерные месторождения и проявления
Бромные хлоридные натриевые	Челкарский Талицкий	Br 30—40 Br 25—55	До 5 5—20	Челкар Талицк, Яр, Старобельск
Бромные хлоридные натриевые рассолы	Московский Вологодский	Br 200—450 Br 450—600	50—150 >150	Мошино, Поречье, Истра, Сапожок и др. Вологда, Валдай
Бромные хлоридные кальциево-натриевые	Белогорский Усть-Качкинский	Br 30—50 Br 700—850	5—15 >150	Белая Горка Усть-Качка, Краснокамск, Стойшикяй
Йодобромные хлоридные натриевые	Тюменский Хадыженский Кудепстинский Майкопский	Br 25—80 J 5—25 Br 30—50 J 10—50 Br 60—75 J 10—30 Br 100—150 J 10—25	9—20 10—15 15—25 10—25	Тюмень, Тобольск, Тавада, Ханты-Мансийск, Туринск, Заводуковский, Сургут Грозный, Челекен, Хиль-Мили Георгиевская Хыдырлы
Йодобромные гидрокарбонатно-хлоридные натриевые	Нафталанский	Br 30—40 J 10—15	10—12	Нафталан
Йодные гидрокарбонатно-хлоридные натриевые	Семигорский	J 10—35	5—15	Семигорье; Кешчай
Йодные хлоридные натриевые	Лапоминский Спазанский	J 20—30 J 25—55	10—15 5—35	Лапоминка Афруджа, Гядысу
Йодные хлоридные кальциево-натриевые	Чартакский	J 20—25	15—35	Чартак

характерных для глубоких горизонтов артезианских бассейнов платформ, предгорных прогибов и межгорных впадин.

Бромные воды встречаются в артезианских бассейнах Русской платформы, где они приурочены к породам от перми до протерозоя и залегают на глубинах от 160 до 2000 м и более. Так, на значительной площади Московского артезианского бассейна хлоридные бромные воды (содержание брома колеблется от 35 до 1500 мг/л) приурочены к породам палеозоя и вскрыты скважинами на глубинах от 160 до 2100 м. При соответствующем разбавлении бромные воды используются в лечебных целях в санаториях «Поречас» и «Любия». Практически повсеместно распространены бромные воды вдоль восточного края Русской платформы, на стыке ее с Предуральским прогибом. Это главным образом крепкие хлоридные натриевые и кальциево-натриевые рассолы (250—300 г/л) с содержанием брома 700—1700 мг/л.

Вместе с бромом в рассолах отмечается йод, среднее содержание которого 5—15 мг/л. Более высокая концентрация йода (54—90 мг/л) связана с водами нефтяных месторождений. Эти йодобромные воды при соответствующем разбавлении могут использоваться в лечебных целях. В настоящее время йодобромные рассолы с минерализацией 271 г/л широко используются только на курорте Усть-Качка. Содержание брома в них 700 мг/л, йода — 10 мг/л.

Широко распространены хлоридные натриевые бромные и йодобромные воды повышенной температуры в мезо-кайнозойских отложениях Западно-Сибирского артезианского бассейна, где их можно встретить в

интервале глубин от 150 до 3000 м. Они используются местными здравницами, санаториями-профилакториями, курортами. На их базе функционируют водолечебницы в Тюмени, Туринске, Ханты-Мансийске, Тобольске, Заводоуковске, пос. Яр и др., а также курорт «Озеро Тараскуль».

В Восточной Сибири рассолы с минерализацией 35—150 г/л в отдельных случаях содержат брома от 40 до 750 мг/л. Так, скважины на трубке Удачная вскрыли на глубине менее 200 м хлоридные магниевые рассолы с минерализацией 90—97 г/л и содержанием брома до 500—750 мг/л. Бром как дополнительный лечебный фактор используется на курорте Усолье-Сибирское, рассолы которого при минерализации 70 г/л содержат 43 мг/л брома.

Необходимо отметить, что в соленых водах и рассолах кроме таких биологически активных компонентов, как сероводород, бром и йод, во многих случаях присутствует бор. Основным гидрогеохимическим типом борсодержащих вод являются метановые и азотно-метановые хлоридные рассолы, в которых концентрация бора колеблется от 50 до 4000 мг/л. Обогащение таких вод бором происходит за счет выщелачивания нефтей и углеводородов, содержащих иногда до 6,9 г/л бора, а также соленосных отложений. На базе борсодержащих минеральных вод, к которым относятся подземные воды с концентрацией метаборной кислоты ( $HBO_2$ ) не менее 50 мг/л [Основы курортологии, 1956], функционируют лечебные учреждения на Кавказе, Сахалине и в Карпатах, использующие их как для ванн, так и для внутреннего применения.

Однако терапевтические свойства вод таких здравниц определяются, вероятно, не бором, а ионно-солевым составом или другими биологически активными компонентами. Влияние действия самого бора изучено недостаточно, не установлены его количественные критерии, обеспечивающие терапевтический эффект. Именно это обстоятельство побудило авторов отнести борсодержащие воды к группе соленых вод и рассолов. Вместе с тем частое присутствие бора в аномально высоких количествах (до 2000 мг/л и более  $HBO_2$ ) и широкое развитие данного типа лечебных вод в Советском Союзе (Карпаты, Крым, Кавказ, Средняя Азия, Восточная Сибирь и т. д.) делают необходимым их всестороннее изучение и выделение в самостоятельную группу минеральных лечебных вод.

На территории зарубежной Азии сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды с минерализацией от нескольких до сотен граммов на литр известны на севере Ирака, в Иране, Монголии, Японии, Индонезии, Китае, Афганистане. Сульфатно-хлоридные воды вскрыты скважинами в пределах Аравийской плиты, а хлоридные натриевые минеральные воды — на территории Индосинийского и Тибетского массивов, Дунбайской платформы и т. д. Хлоридные натриевые воды с минерализацией 6 г/л и температурой 33°C используются в лечебных целях на некоторых африканских курортах.

Сульфатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией до 3—5 г/л и высоким содержанием карбонат-иона выводятся отдельными группами источников на востоке Австралии, где также известны хлоридные рассолы (рис. 4.3).

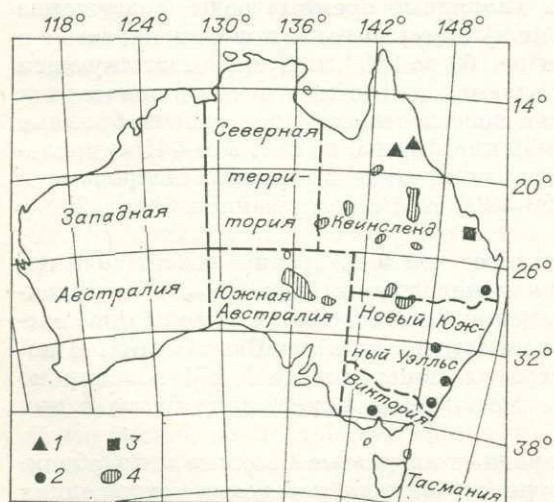


Рис. 4.3. Основные минеральные и термальные источники Австралии [McLeod, 1969].

1 — термальные источники; 2 — другие разновидности минеральных вод; 3 — подземные рассолы; 4 — группа источников в горных районах.

Хлоридные и сульфатно-хлоридные воды с повышенным содержанием радона применяются в лечебных целях на Ямайке, а с повышенным содержанием брома — в Англии, где на базе этих минеральных вод (минерализация от 6 до 180 г/л) функционируют многочисленные курорты. Соленые воды и рассолы с повышенным содержанием брома и йода широко используются в странах Западной Европы на курортах, в санаториях и бальнеолечебницах. В ГДР, где площадь развития этих вод занимает более 2/3 территории страны, известны такие курорты, как Зульца, Кезен, Франкенхаузен, Зальцунген; в Венгрии высокоминерализованные воды применяются в лечебных целях на курорте Хайдусобло; в Польше — на курортах Ивонич, Буско и Цихоцинек; очень крепкие рассолы (317 г/л), содержащие бром (42 мг/л), употребляются для лечения на курорте Иновроцлав. В Румынии курорт Говора использует хлоридные натриевые воды с высоким содержанием йода, брома и сероводорода (12—296 мг/л), в ФРГ крупные бальнеологические курорты Брагиштедт и Дюркгейм базируются на хлоридных натриевых водах, хлоридные рассолы содержащие йод, бром и борную кислоту, распространены на побережье Адриатического моря Албании. Своеобразные сульфатные натриевые рассолы с минерализацией 70—140 г/л используются в лечебных целях с 1880 г. в Испании (источники Карабанья).

#### 4.3.2. Углекислые воды

Среди минеральных вод, используемых в лечебных целях, группа углекислых является одной из важнейших и наиболее эффективной.

Для отнесения углекислых вод к категории лечебных в СССР принята норма (см. табл. 4.1), по которой содержание  $\text{CO}_2$  должно быть более 0,5 г/л в случае использования углекислых вод как питьевых лечебных и лечебно-столовых, а при наружном применении в виде углекислых ванн — не менее 1,0 г/л\*.

Углекислые воды составляют одну из наиболее обширных провинций минеральных вод, имеющую планетарное развитие. В силу специфики своей природы углекислые воды образуются лишь на отдельных обособленных и сравнительно ограниченных по площади участках. В геоструктурном отношении проявления этих вод приурочены к областям новейшего вулканизма и интенсивного горообразования, а также к зонам эпиплатформенного орогенеза. На территории СССР область развития углекислых вод располагается по южной границе страны, протягиваясь от Карпат на западе до Чукотки на востоке. В нее входят горно-складчатые сооружения Карпат, Большого и Малого Кавказа, Тянь-Шаня, Восточного Саяна, Забайкалья, Приморья и Камчатки (рис. 4.4). Огромную роль в формировании углекислых вод играют как неглубокие тектонические нарушения, так и крупные региональные разломы.

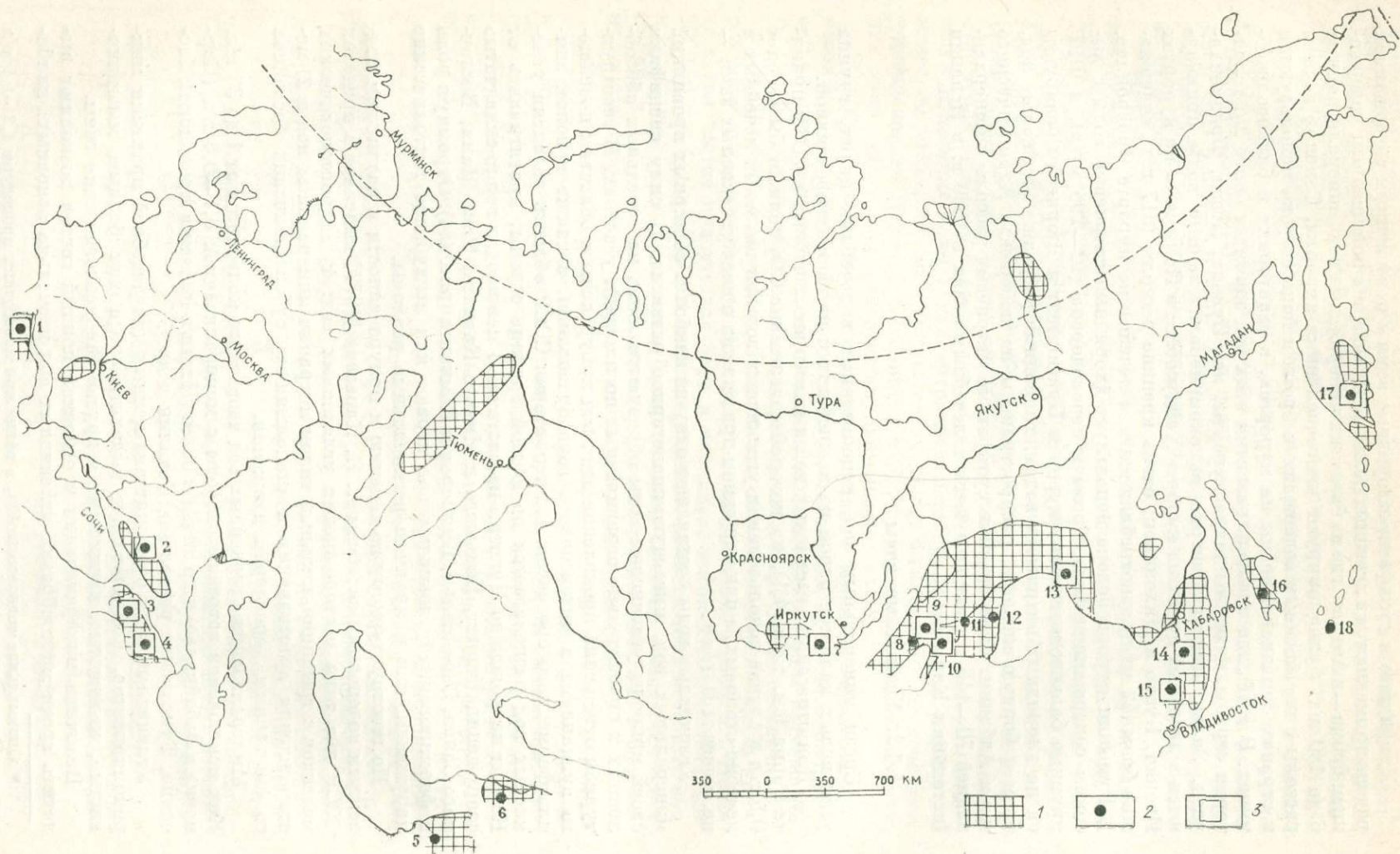
По геоструктурному положению и приуроченности к различным подземным водоносным системам А. П. Карасева [1977] выделяет в пределах СССР два типа месторождения углекислых вод: 1) гидрогеологических массивов с трещинно-жильным типом миграции минеральных вод и 2) месторождения артезианских и «наложенных» субартезианских бассейнов со смешанным характером движения.

Минерализация углекислых вод чаще всего колеблется от 1 до 35 г/л. Как исключение встречаются воды с минерализацией 0,1—0,3 г/л (Карповка в Забайкалье) и до 90 г/л и более (Птгни и Раздан в Ереванском бассейне, Тунгорские рассолы о. Сахалин и др.).

Углекислые воды содержат ряд ценных для лечебной практики микрокомпонентов, что позволяет выделять среди них борные, мышьяковистые, железистые, кремнистые и другие бальнеологические типы.

Величина минерализации и основной ионный состав позволяют выделить среди многообразия углекислых вод несколько основных, наибо-

\* Оптимальное содержание  $\text{CO}_2$  в ванне при проведении процедуры 1,2—1,4 г/л (данные Центрального НИИ курортологии и физиотерапии).



лее распространенных классов: 1) гидрокарбонатные, 2) сульфатно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-сульфатные), 3) хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные), 4) хлоридные.

**Углекислые гидрокарбонатные воды.** Среди вод этого обширного класса с преобладанием среди анионов  $\text{HCO}_3 > 80$  экв. % выделяются три подкласса, исключительно широко использующиеся в курортной практике: кальциевые и магниевые-кальциевые (кальциево-магниевые) — типа Дарасуна; натриевые — типа Боржоми; сложного (трехкомпонентного) катионного состава — типа Ласточки.

Типичным представителем рассматриваемых вод являются углекислые воды Дарасунского месторождения, послужившие основанием для выделения дарасунского типа минеральных углекислых вод. Месторождение расположено в Восточном Забайкалье и приурочено к мощной зоне дробления в метаморфизованных песчано-конгломератовых породах юры, выполняющих небольшую грабен-синклиналь. Минеральные воды месторождения имеют однотипный химический состав и лишь минерализация изменяется от 0,6 до 2,5 г/л в зависимости от глубины вскрытия водоносной зоны. Воды здесь обладают высокой газонасыщенностью ( $\text{CO}_2$  до 10—15 г/л), вследствие чего скважинам свойственно явление газлифта. На базе месторождения функционирует крупнейший в Забайкалье курорт, а в Чите — завод розлива.

Дарасунский тип углекислых вод является весьма характерным для Забайкалья, что определяется специфическими условиями их формирования в наложенных, небольших по размерам впадинах на древнем кристаллическом основании. К этому типу относятся месторождения углекислых вод Кука, Ямаровка, Шиванда и др. (табл. 4.5). По сравнению с водами Дарасунского месторождения они более минерализованы (2,7—3,5 г/л) и обладают повышенным содержанием магния или натрия. На этих месторождениях функционируют одноименные курорты.

На востоке страны, в Приморском крае минеральные воды дарасунского типа распространены в Амуро-Сихотэ-Алинском районе (месторождения Шмаковка, Алчанское и др.). Известны они также в Алтае-Саянской складчатой области, где в пределах Минусинской впадины в 1958 г. у д. Кожаново обнаружены углекислые холодные воды с содержанием свободной углекислоты до 3 г/л, и на Алданском склоне Восточного Верхоянья (Менкеченские).

В гидрогеологических резервуарах зоны альпийской складчатости дарасунский тип минеральных углекислых вод достаточно широко развит в кристаллических и метаморфических породах Большого Кавказа, особенно его центральной части (махарский и магнезиальный Нарзан) и в хорошо промытых осадочных породах юры и мела (Чвижице, Десикомидон, Нарзан-Воклюз, Сакени). В Малокавказской области они локализируются в выступах палеозойского складчатого основания, в трещиноватых известняках и вулканогенных образованиях верхнего мела и палеогена (Ахурик, Фролова балка, Арарат, Татев, Веди, Дашкесан и др.).

Характерными биологическими активными элементами дарасунского типа углекислых вод являются кремнекислота  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  (10—120 мг/л) и железо (20—75 мг/л); редко отмечаются бор ( $\text{H}_3\text{BO}_3$  до 220 мг/л) и мышьяк (4—5 мг/л).

Углекислые минеральные воды типа Боржоми с минерализацией от 3 до 15 и реже до 25 г/л представляют собой очень ценную группу минеральных вод, используемых в бальнеолечебницах и на курортах.

Наиболее широко этот тип вод развит в Закарпатской и Кавказской (Большо- и Малокавказской) областях (табл. 4.6). В Карпатском регио-

Рис. 4.4. Схема распространения углекислых минеральных вод на территории СССР [Вартанян, 1977].

1 — площади распространения углекислых вод различного состава и температуры; 2 — основные здравницы и источники (1 — Поляна, 2 — Кавказские минеральные воды, 3 — Арзни, 4 — Джермук, 5 — Гарм-Чамша, 6 — Чатыр-Куль, 7 — Аршан-Тункинский, 8 — Ямгун, 9 — Кука, 10 — Дарасун, 11 — Шиванда, 12 — Ямаровка, 13 — Гонжинские, 14 — Ласточка, 15 — Шмаковка, 16 — Синегорские, 17 — Малкинские, 18 — Кислый Ключ); 3 — основные заводы розлива.

## Характеристика углекислых

Область, месторождение	Тип и возраст вмещающих пород	Содержание CO <sub>2</sub> , г/л	Минерализация, г/л
Забайкальская			
Кука	Граносениты, MZ	3,2	3,0
Дарасун	Песчаники, конгломераты, J <sub>3</sub>	3,3	1,3
Олентуй	Метаморфические сланцы, PZ	1,9	1,3
Восточно-Саянская			
Уран-Сай	Гранодиориты, PZ	0,9	1,2
Арыскан	Граниты, D <sub>1-2</sub>	1,25	3,5
Приморская Шмаковка	Гранитоиды, PZ <sub>2</sub>	2,4	1,49
Закарпатская			
Белин	Флишевые отложения, K <sub>1-2</sub>	1,6	2,5
Келечин	Песчаники, P <sub>2</sub>	2,6	1,7
Кавказская			
Чвижице	Известняки, K <sub>1</sub>	2,2	2,4
Нарзан-Воклюз	Мергелл, J <sub>3</sub> — K <sub>1</sub>	1,5	1,5
Малкинское	Песчаники, известняки, J <sub>3</sub>	1,5	3,0
Татев	Известняки, песчаники, P <sub>3</sub>	0,8	1,7
Ширлян	Брекчии перидотитов, K <sub>2</sub>	2,3	3,5
Тту-Джур	Порфириды, P <sub>2</sub>	2,5	2,3

не гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией от 4 до 26 г/л и температурой от 8 до 28°C распространены в бассейне р. Латорицы (Поляна Квасова, Новая Поляна, Голубинское). По уровню минерализации среди рассматриваемых вод выделяются средние (до 10 г/л)- и высокоминерализованные (до 25 г/л), причем последние приурочены или к глубоким слабо промытым зонам флишевых формаций, или к глубинным разломам типа Закарпатского (Пасика). На базе перечисленных месторождений функционируют санатории и заводы розлива. На отдельных участках в Закарпатье в катионном составе гидрокарбонатных натриевых вод в заметных количествах (до 30 экв. %) присутствует кальций. Примером может служить курортный комплекс Шаян.

В Кавказской области гидрокарбонатные натриевые воды широко распространены на южном склоне Большого Кавказа и в Аджаро-Триалетии. Типичным представителем этого типа вод являются минеральные воды Боржом — жемчужины Кавказа. Боржомское месторождение расположено в центральной части Аджаро-Триалетской водонапорной системы и связано с карбонатными породами верхнего мела.

## вод дарасунского типа

Формула ионного состава	Биологически активные компоненты, г/л	Другие характерные месторождения
$\frac{\text{HCO}_3\text{95SO}_4\text{4}}{\text{Ca41Mg40}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ — 0,072 Fe — 0,020	Борзихинское, Ямаровское, Копчигирское
$\frac{\text{HCO}_3\text{91SO}_4\text{9}}{\text{Ca54Mg32}}$	Fe — 0,029	Молоковское, Бульбуртайское
$\frac{\text{HCO}_3\text{98SO}_4\text{1}}{\text{Ca51Mg41}}$	—	Завитинское, Ургучанское, Ямкунское
$\frac{\text{HCO}_3\text{95}}{\text{Ca79Mg14}}$	—	Шандал-Ой, Исвен, Чойган, Торпа
$\frac{\text{HCO}_3\text{97}}{\text{Ca42(Na + K)39}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ — 0,039	Тиссинское
$\frac{\text{HCO}_3\text{98}}{\text{Ca72Mg23}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ — 0,080	Алчанское, Черная речка, Нижние Лужки, Сандагоу
$\frac{\text{HCO}_3\text{95Cl5}}{\text{Ca58Mg24}}$	—	Ужок, Прохидие, Богдан
$\frac{\text{HCO}_3\text{99Cl1}}{(\text{Na} + \text{K})75\text{Mg18}}$	Fe — 0,034 F — 0,0003	Тарасовка
$\frac{\text{HCO}_3\text{93Cl6}}{\text{Ca66(Na + K)20}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ — 0,050 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ — 0,036, Fe — —0,040, As — 0,0045	Сакени, Кулагинский, Магне- зиальный, Муаши
$\frac{\text{HCO}_3\text{89Cl17}}{\text{Ca79(Na + K)11}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ — 0,066 $\text{H}_3\text{BO}_3$ — 0,238	Десикоми — Дон, Махарский
$\frac{\text{HCO}_3\text{79SO}_4\text{15}}{\text{Ca56Mg30}}$	$(\text{H}_2\text{S} - \text{HS}^-)$ — 0,025	
$\frac{\text{HCO}_3\text{74Cl20}}{\text{Ca71Mg19}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ — 0,039	Фиолетово, Фролова Балка
$\frac{\text{HCO}_3\text{94Cl5}}{\text{Mg55Ca30}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ — 0,118	Ахурик, Арагат
$\frac{\text{HCO}_3\text{92}}{\text{Ca64Mg21}}$	Fe — 0,020	Веди, Дашкесан

Исследования последних лет выявили значительные ресурсы этих вод в пределах Баратхевской синклинали, расположенной к северу от Боржомской. В пределах всего месторождения солевой состав вод постоянен, минерализация не превышает 7,5 г/л, температура в естественных проявлениях варьирует от 12 до 31°C, в скважинах достигает 38°C.

В районе месторождения разведано несколько участков (Ликанский, Вашловани-Квибисский, Центральный), обеспечивающих санаторно-курортные комплексы питьевыми и бальнеотерапевтическими минеральными водами. В пределах Аджаро-Триалетии воды боржомского типа вскрыты скважинами в Саирме, Набеглави и Ахалдixe, используемые одноименными курортами. Гидрокарбонатные натриевые воды достаточно широко представлены в центральной части Малого Кавказа (Дилижан, Фиолетово и др.). На Большом Кавказе достаточно широко развиты гидрокарбонатные натриевые воды в западной (Абхазско-Рачинской) части южного склона Главного хребта (Авадхара, Уцера, Багиати, Тибудон, Хасиевское и др.). Минерализация их колеблется от 4—8 до 30 г/л. Наиболее минерализованные воды вскрыты на Уцерском месторождении, где они

## Характеристика углекислых

Область, месторождение	Тип и возраст вмещающих пород	Содержание CO <sub>2</sub> , г/л	Минерализация, г/л
Забайкальская			
Балей	Конгломераты, J <sub>3</sub> — K <sub>1</sub>	0,9	16,4
Приморская			
Мухенское (Пунчинское)	Гранодиориты, MZ	2,6	15,2
Тянь-Шаньская			
Бесбельчир-Арасан	Известняки, D <sub>2</sub>	1,5	3,4
Чавай	Алевролиты, J <sub>1</sub>	0,9	4,1
Памирская			
Бахмыр	Песчаники, P	0,26	3,8
Закарпатская			
Пасика	Известняки, J <sub>3</sub>	2,6	24,7
Плоское	Песчаники, P <sub>2</sub>	1,8	5,2
Полянское	Песчаники, K <sub>2</sub>	1,2	9,4
Свалява	»	1,8	9,2
Кавказская			
Тиб	Флишевые отложения, K <sub>1</sub>	2,0	9,8
Багпати	»	1,2	6,2
Уцера	»	2,4	12,3
Авадхара	Сланцы, J <sub>1</sub>	1,9	17,4
Набеглави	Осадочно-вулканогенные породы, P <sub>2</sub>	1,7	6,9
Боржоми (Вашловани)	Карбонатные породы, K <sub>2</sub>	1,0	7,3
Дилижан	Порфириты, P <sub>2</sub>	1,6	3,5
Арзакан	Метаморфические сланцы, PZ	1,5	4,8

используются в качестве лечебных и для розлива. В последние годы углекислые воды боржомского типа, которые могут служить гидроминеральной базой для курортов КМЗ, выявлены на северном склоне Большого Кавказа в глубоких горизонтах Нагутского месторождения.

Отдельные месторождения и проявления минеральных вод боржомского типа известны в Приморье (Мухенское), Забайкалье (Эймнахское

## вод боржомского типа

Формула ионного состава	Биологически активные компоненты, г/л	Другие характерные месторождения
$\frac{\text{HCO}_3\text{99Cl1}}{(\text{Na} + \text{K})82\text{Mg14}}$	—	Шербакхта, Погроминское, Романовское, Эймнахское
$\frac{\text{HCO}_3\text{97Cl3}}{(\text{Na} + \text{K})86\text{Ca5}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,356$	—
$\frac{\text{HCO}_3\text{74Cl17}}{(\text{Na} + \text{K})54\text{Ca32}}$	—	Кулун, Терек
$\frac{\text{HCO}_3\text{84Cl16}}{(\text{Na} + \text{K})80\text{Mg11}}$	—	
$\frac{\text{HCO}_3\text{89SO}_4\text{6}}{(\text{Na} + \text{K})78\text{Ca12}}$	—	—
$\frac{\text{HCO}_3\text{83Cl16}}{(\text{Na} + \text{K})95\text{Ca2}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,785$ J — 0,0046 Br — 0,0114	Поляна Новая, Голубинское, Нелепино, Русские Комаровцы
$\frac{\text{HCO}_3\text{90Cl10}}{(\text{Na} + \text{K})93\text{Ca6}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,077$ Fe — 0,0012	
$\frac{\text{HCO}_3\text{89Cl11}}{(\text{Na} + \text{K})94\text{Ca4}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,173$ Fe — 0,001	Вышково, Шаян
$\frac{\text{HCO}_3\text{88Cl12}}{(\text{Na} + \text{K})94\text{Ca4}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,169$	
$\frac{\text{HCO}_3\text{95Cl3}}{(\text{Na} + \text{K})92\text{Ca7}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,308$ As — 0,001	Бубу-Дон, Хасиевский, Задачит
$\frac{\text{HCO}_3\text{91Cl9}}{(\text{Na} + \text{K})74\text{Ca19}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,134$ $\text{H}_2\text{SiO}_3 - 0,019$	Шеубани, Шамуж, Бзыпи
$\frac{\text{HCO}_3\text{100}}{(\text{Na} + \text{K})93\text{Mg7}}$	Fe — 0,034 $\text{H}_3\text{BO}_3 - 2,0$	
$\frac{\text{HCO}_3\text{97Cl3}}{(\text{Na} + \text{K})68\text{Ca17}}$	As — 0,004 $\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,095$	
$\frac{\text{HCO}_3\text{92Cl4}}{(\text{Na} + \text{K})80\text{Mg12}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 - 0,116$	Саирме, Ахалцихе, Анкаван
$\frac{\text{HCO}_3\text{86Cl14}}{(\text{Na} + \text{K})94\text{Mg4}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 - 0,06$	Бжни
$\frac{\text{HCO}_3\text{79Cl13}}{(\text{Na} + \text{K})85\text{Ca11}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 - 0,067$	Сираб, Готурлу
$\frac{\text{HCO}_3\text{75Cl17}}{(\text{Na} + \text{K})85\text{Ca9}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 - 0,144$ $\text{H}_3\text{BO}_3 - 0,094$	Фиолетово

и др.), Кузнецком Алатау (Терсинское), Тянь-Шане (Чавай и др.) и Памире (Бахтыр).

Углекислые воды типа Ласточка рассматриваются как промежуточный тип между дарасунским и боржомским (табл. 4.7). Общая минерализация вод составляет 3—4 г/л. Достаточно часто они образуются в результате смешения вод в верхней части месторождений боржомского типа (Ши-

Характеристика углекислых гидрокарбонатных вод типа Ласточка

Область, месторождение	Тип и возраст вмещающих пород	Содержание CO <sub>2</sub> , г/л	Минерализация, г/л	Формула полного состава	Биологически активные компоненты, г/л	Другие характерные месторождения
Забайкальская						
Шиванда	Гнейсы, J <sub>2-3</sub>	2,4	4,1	$\frac{\text{HCO}_3 96 \text{SO}_4 3}{\text{Ca} 33 (\text{Na} + \text{K}) 32 \text{Mg} 30}$	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,040 Fe 0,015	Талаганское, Загулайское, Игнашинское
Гонжа	Метаморфические и изверженные породы PZ	0,5	2,7	$\frac{\text{HCO}_3 100}{\text{Ca} 38 (\text{Na} + \text{K}) 32 \text{Mg} 30}$	—	
Приморская						
Ласточка	Песчаники, J <sub>1-2</sub>	3,0	4,0	$\frac{\text{HCO}_3 100}{(\text{Na} + \text{K}) 53 \text{Mg} 24 \text{Ca} 21}$	Fe 0,02	Наймукское, Хрустальное
Кавказская						
Хасаут	Сланцы, PZ <sub>2-3</sub>	4,6	4,0	$\frac{\text{HCO}_3 85 \text{Cl} 15}{\text{Ca} 35 (\text{Na} + \text{K}) 35 \text{Mg} 26}$	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,06 Fe 0,025	Лебарде, Опи (скв. 1), Нарзан
Шовп	Терригенный флиш, J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub>	4,1	3,8	$\frac{\text{HCO}_3 90 \text{SO}_4 9}{\text{Ca} 46 (\text{Na} + \text{K}) 32 \text{Mg} 20}$	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 0,078	—
Ахкерши	Аргиллиты, P <sub>2</sub>	4,2	4,7	$\frac{\text{HCO}_3 83 \text{Cl} 16}{\text{Ca} 55 \text{Mg} 23 (\text{Na} + \text{K}) 22}$	—	—
Турш-су	Песчаники, K <sub>2</sub>	4,3	2,6	$\frac{\text{HCO}_3 90 \text{Cl} 9}{\text{Mg} 38 \text{Ca} 35 (\text{Na} + \text{K}) 27}$	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,045	Гюмур
Шпрлан	Вулканогенно-осадочные породы, J <sub>2</sub> — K <sub>1</sub>	2,2	2,7	$\frac{\text{HCO}_3 95 \text{Cl} 5}{(\text{Na} + \text{K}) 45 \text{Ca} 28 \text{Mg} 27}$	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,144	—

ванда, Гонжа, Талакан в Забайкалье). На базе месторождения Ласточка функционируют завод розлива и бальнеолечебница.

**Углекислые сульфатно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-сульфатные) воды.** Среди вод данного класса наиболее известны магнево-кальциевые нарзаны Кисловодска. Сравнительно редко встречаются гидрокарбонатно-сульфатные воды смешанного катионного состава (Подкумское, Абано, Кечут, Сисиан и др.).

Сульфатно-гидрокарбонатные магнево-кальциевые воды с минерализацией от 2 до 5—6 г/л (иногда с повышенным содержанием натрия) наиболее широко развиты на Северном Кавказе. Район Кавказских минеральных вод (КМВ) вообще служит классическим примером развития всей гаммы гидрогеохимических типов углекислых минеральных вод, формирующихся на площади около 4—5 тыс. км<sup>2</sup>.

Изучением минеральных вод этого региона занимались такие известные гидрогеологи, как Н. Н. Славянов, А. Н. Огильви, А. М. Овчинников, И. Я. Пантелеев, и многие другие. Здесь располагается несколько городов-курортов (Кисловодск, Пятигорск, Железноводск, Ессентуки и т. д.). Геолого-тектонической особенностью района являются лакколиты — магматические внедрения, прорывающие и воздымающие осадочные толщи и образующие своеобразные «окна дренирования» глубоких водоносных горизонтов минеральных вод (рис. 4.5).

Кисловодское месторождение расположено в краевой части артезианского склона, где происходит мощная естественная разгрузка холодных углекислых маломинерализованных сульфатно-гидрокарбонатных магнево-кальциевых вод. Водовмещающими породами служат главным образом карбонатные отложения нижнего мела. Наиболее известный представитель этого типа вод — источник Сульфатный Нарзан, один из основных лечебно-питьевых источников курорта. Минерализация воды достигает 5 г/л, температура 16°C. В пределах курорта аналогичные воды вскрыты еще рядом скважин. Содержание углекислоты составляет 1,8—2,3 г/л. Вода с суммарным дебитом до 250 м<sup>3</sup>/сут по минералопроводу подается с бальнеолечебницы Кисловодска [Минеральные воды СССР, 1974].

Источник Доломитный Нарзан имеет сульфатно-гидрокарбонатный натриево-кальциевый состав с содержанием магния до 20 экв. %, минерализацией около 3,9 г/л и концентрацией углекислоты 1,9 г/л. Посредством наклонной буровой скважины эта вода выводится из доломитизированных известняков и по минералопроводу поступает в нарзанную галерею.

В 70-е годы около Кисловодска в долинах рек Березовой, Подкумки и Ольховки вскрыты воды с минерализацией 5,7—6,8 г/л и с содержанием CO<sub>2</sub> 1,8—1,9 г/л. Воды ольховского нарзана отличаются повышенным содержанием натрия. Разведочными работами на Верхнеподкумском участке вскрыты слабоуглекислые (CO<sub>2</sub> 0,4—0,9 г/л) слабоминерализованные воды (<2 г/л).

Сульфатно-гидрокарбонатные магнево-кальциевые воды встречаются (табл. 4.8) также на Памире (Абхарв), Камчатке (Озерновские), в Восточной Сибири (Аршан). Гидрогеологический разрез Аршанского месторождения представлен на рис. 4.6. Наиболее типичным микроэлементом вод является кремнекислота, содержание которой колеблется в пределах 0,056—0,170 г/л.

**Углекислые хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) воды** с минерализацией от 5 до 14 г/л — довольно редкая группа вод, имеющих особую лечебную ценность. Они распространены в основном в артезианских бассейнах горно-складчатых сооружений Карпат, Кавказа и Памира. На базе этих вод в СССР функционирует ряд крупных курортов, санаториев и заводов розлива. В Сибири и на Дальнем Востоке известны лишь их единичные проявления (Западная Сибирь, Сахалин). В зависимости от соотношения основных компонентов различают эссен-тукский, сойминский и арзнинский типы вод (табл. 4.9).

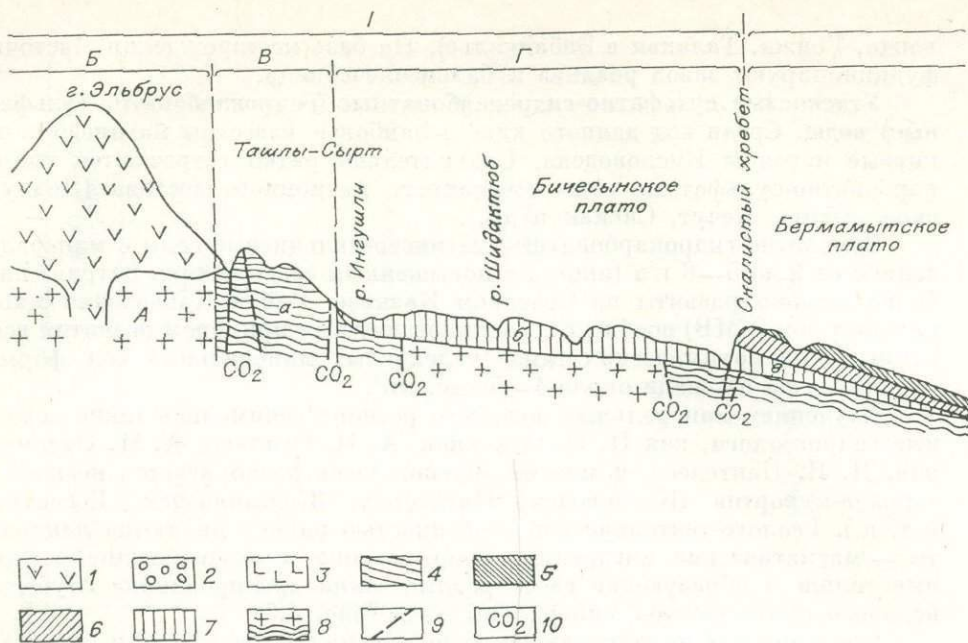


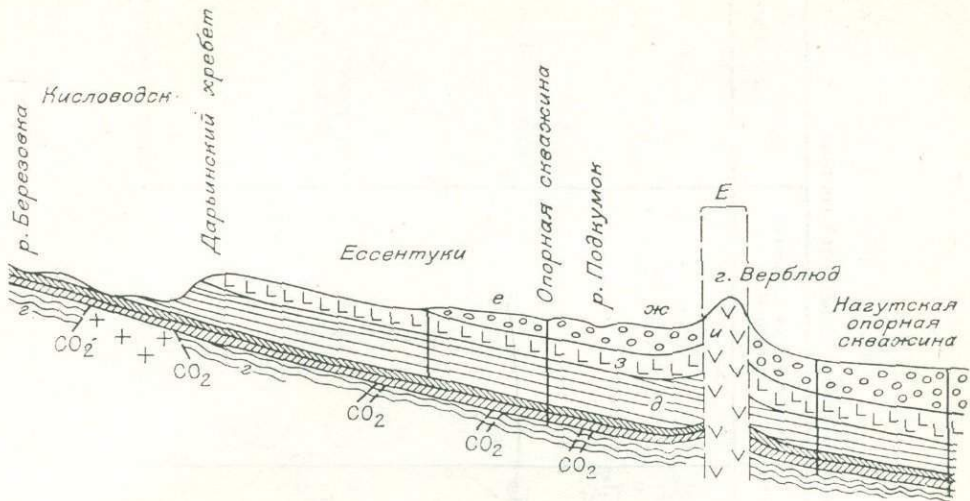
Рис. 4.5. Схематический геолого-гидрогеохимический разрез через северную часть Центрального Кавказа, И. Я. Пантелееву,

I — Центральный Кавказ, II — район КМВ. А — гидрогеологический гранитный массив Центрально-геологический массив, Г — Бельско-Малкинский адартезианский бассейн, Д — минераловодское Верб

1 — трещинные, преимущественно пресные воды зоны выветривания кристаллических пород неоген-породах палеоген-неогенового возраста; 2 — трещинные и карстовые пресные и углекислые воды части структуры термальные солоноватые воды терригенной толщи альба; 3 — трещинно-пластовые в карбонатных породах валанжина; 4 — трещинно-пластовые, реже карстовые пресные, в закрытой ней юре; 5 — пластово-трещинные пресные, на глубине солоноватые и солевые до весьма слабых пресные и углекислые минеральные воды в кристаллических сланцах и гранитах палеозоя; 6 — М и н е р а л ь н ы е в о д ы: а — дарасуны и нарваны баксанского типа, б — нарваны баксанского кальциевые, реже углекислые сульфатные, в — нарваны кисловодского типа, г — то же, но горячие ридные натриевые минеральные с иодом и бромом; з — азот

Эссентукское месторождение углекислых вод входит в систему КМВ и расположено в пределах Северо-Кавказской моноклинали. Соляно-щелочные воды вскрываются скважинами в верхнемеловых известняках как в районе самих Эссентуков, так и в северной части Эссентукского месторождения на Ново-Благодарненском участке. Аналогичные воды в тех же отложениях вскрыты скважинами в районе с. Нагутское (см. рис. 4.5). На Эссентукском месторождении выделяются два типа соляно-щелочных вод — Эссентуки № 17 и Эссентуки № 4, что соответствует номерам естественных источников, впервые изученных исследователем кавказских минеральных вод А. П. Нелюбиным. Различаются воды этих источников общей минерализацией, которая для Эссентуков № 4 варьируется от 7 до 10 г/л, а для Эссентуков № 17 — от 10 до 13 г/л. Месторождение эссентукских углекислых вод эксплуатируется несколькими скважинами, из которых основными питьевыми являются скв. 17, дающая воды типа Эссентуки № 17, и скв. 418 с водой типа Эссентуки № 4. Важнейший резерв для расширения курорта — Нагутское месторождение углекислых термальных вод типа Эссентуки № 17, обладающее значительными ресурсами.

К рассматриваемому типу относятся воды ряда источников южного склона Главного Кавказского хребта. Такие источники, как Пасанаури, Важас-Цхаро, Багиати, перспективны для практического освоения. На базе месторождения Важас-Цхаро функционирует завод розлива, а на водах месторождения Джава (Южная Осетия) создан одноименный курорт, где используется вода с минерализацией 6,0 г/л и содержанием  $CO_2$  1,5 г/л. В настоящее время новые скважины вывели аналогичные воды с минерализацией 20 г/л. В Северной Осетии (северный склон Главного



Большекавказской гидроминеральной области (по Е. В. Посохову, Н. И. Толстихи-А. М. Овчинникову и др.).

ного Кавказа, Б — Эльбрусский вулканогенный супербассейн, В — Центральнокавказский гидрокрылье Терско-Кумского артезианского бассейна, Е — гидр огеологический массив лакколита горы люд.

четвертичного возраста; 2 — трещинно-пластовые воды различной минерализации в терригенных разных типов в терригенных породах верхнего мела; 4 — трещинно-пластовые пресные, в закрытой и карстовые воды, в закрытой части структуры углекислые минеральные воды различного состава части структуры углекислые минеральные воды сложного состава в терригенных отложениях верх-рассолов углекислые минеральные воды в терригенных отложениях средней юры; 8 — трещинные тектонические нарушения; 10 — предполагаемые пути миграции углекислых вод из фундамента. типа и воды эссентукского и арзинского типов, е — сероводородные преимущественно сульфатно-(местами с сероводородом); ж — эссентукские углекислые (соляно-щелочные); з — метановые хлоридные гидрокарбонатные и хлоридные натриевые; и — радоновые.

Кавказского хребта) воды такого же состава известны на месторождении Зарамаг.

На Малом Кавказе к эссентукскому типу относятся углекислые воды Исти-Су Верхний, Багырсах и Зварс, а на Памире — Гарм-Чашма. Воды эссентукского типа с минерализацией до 9 г/л и содержанием углекислоты 2—3 г/л обнаружены на Западно-Сибирской низменности. Они вскрыты скважинами на глубине 240—260 м в районе г. Шадринска и распространены на площади восточнее линии Березово — Шаим — Тобольск.

Типичный представитель сойминского типа вод — Сойминское месторождение в Карнатах, где функционирует санаторий «Верховина». Воды, аналогичные сойминским, с минерализацией до 10—38 г/л известны на месторождениях Верхний Быстрый и Горная Тисса. В пределах Большого Кавказа они отмечаются вдоль северного (месторождения Ингушли, Верхне-Баксанское, Джили-Су, Танадон) и южного склонов (Зарамаг, Коби, Казбеги) Главного Кавказского хребта. На Малом Кавказе в пределах Армянской складчатой зоны наиболее крупными месторождениями являются Анкаван, Личк (Мартуни), Минкенд, Уруд.

Углекислые воды арзинского типа отличаются от рассмотренных более высокой (до 35 г/л) минерализацией за счет повышенного содержания хлора. Основные области их развития — Закарпатская и Кавказская, где они, как правило, приурочены к осадочным или вулканогенно-осадочным отложениям юры, мела и палеогена (см. табл. 4.9). В составе биологически активных компонентов в отдельных случаях отмечается аномальная концентрация мышьяка — до 30 мг/л (Джульфа, Синегорское) и бора ( $H_3BO_3$ ) — 1000—2500 мг/л (Двин, Синегорское). На многих месторождениях действуют курорты (Арзни, Анкаван, Кумское).

Характеристика углекислых вод сульфатно-гидрокарбонатного (гидрокарбонатно-сульфатного) состава

Область, месторождение	Тип и возраст вмещающих пород	Содержание $\text{CO}_2$ , г/л	Минерализация, г/л	Формула ионного состава	Биологически активные компоненты, г/л	Другие характерные месторождения
Восточно-Саянская Аршан	Известняки, PR <sub>2</sub>	8,0	4,0	$\frac{\text{HCO}_370\text{SO}_427}{\text{Ca}58\text{Mg}22}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,078	—
Тянь-Шанская, Памирская Кара-Киче	Известняки, C <sub>1</sub>	1,7	2,9	$\frac{\text{HCO}_366\text{SO}_432}{\text{Ca}48(\text{Na} + \text{K})31\text{Mg}21}$	—	Авдик, Хоз-Гуни, Жунт
Абхарв	Гнейсы, мраморы, С	0,7	3,0	$\frac{\text{HCO}_351\text{SO}_433}{\text{Ca}57\text{Mg}24}$	—	
Кавказская Кисловодск	Известняки, K <sub>1</sub>	2,3	4,2	$\frac{\text{HCO}_361\text{SO}_427}{\text{Ca}55(\text{Na} + \text{K})23\text{Mg}21}$	—	Ольховское, Березовское, Поддумское, Усть-Джегута
Железноводск	Мергель, P	1,1	3,6	$\frac{\text{HCO}_345\text{SO}_438}{(\text{Na} + \text{K})61\text{Ca}29}$	—	
Кироваван	Аллювиальные отложения, Q	2,0	11,0	$\frac{\text{HCO}_253\text{SO}_431}{(\text{Na} + \text{K})59\text{Mg}29}$	Fe 0,022 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,084	Кечут, Славянка

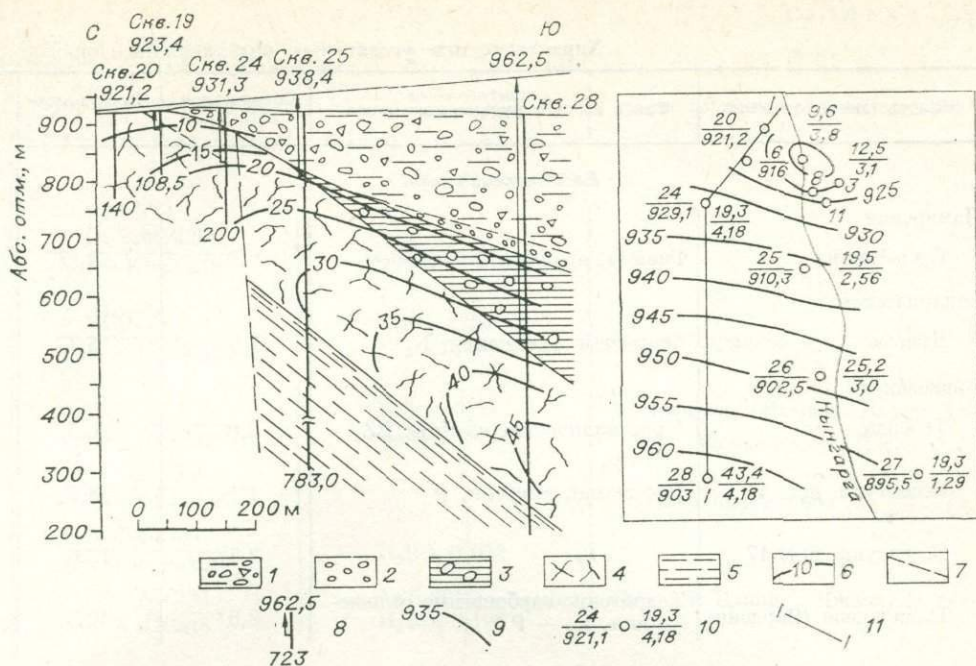


Рис. 4.6. Гидрогеологический разрез Аршанского месторождения минеральных углекислых вод (по М. А. Кашиной).

1—3 — кайнозойские образования: 1 — валунно-галечные отложения с песчано-суглинистым заполнителем; 2 — древесно-галечные отложения; 3 — глины с включением гальки и валунов. 4—5 — протерозойские образования: 4 — известняки протерозоя, сильнотрещиноватые, участками брекчированные; 5 — метаморфические сланцы протерозоя; 6 — изотермы; 7 — предполагаемое тектоническое нарушение; 8 — скважина (вверху — абсолютная отметка уровня подземных вод, внизу — глубина скважины, м); 9 — изоэпы трещинных вод в известняках протерозоя (абс. отм.); 10 — скважина (слева в числителе — номер, в знаменателе — абсолютная отметка устья, м; справа в числителе — температура воды на изливе, °С, в знаменателе — минерализация, г/л); 11 — линия разреза.

**Углекислые хлоридные воды.** Хлоридные натриевые и натриево-кальциевые воды с минерализацией от 35 до 150 г/л представляют интерес для бальнеологии, но используются еще мало. Они обнаружены в Закарпатье и на Малом Кавказе (табл. 4.10). В Закарпатье углекислые рассолы выведены скважинами в Солотвинском и Чоп-Мукачевском артезианских бассейнах. В солотвинском бассейне эти воды получены из вулканогенно-осадочных отложений неогена с глубины 630—750 м в районе Вышковского рудного поля. Минерализация их 130 г/л. В Чоп-Мукачевском бассейне — в районе Ужгорода — углекислые рассолы с минерализацией 52 г/л связаны с метаморфическими сланцами палеозоя и выведены с глубины около 2000 м.

На Малом Кавказе этот редкий тип углекислых вод распространен в наиболее погруженных зонах Ереванского бассейна. Помимо естественных выходов, которые были давно известны в долине р. Раздан у с. Птгни, воды с минерализацией до 90 г/л вскрыты скважинами на глубинах более 2000 м в нескольких пунктах (Азатаван, Птгни, Раздан, Каракала и др.).

На территории зарубежных стран, так же как и в СССР, углекислые воды развиты преимущественно в пределах складчатых сооружений, где проявилась молодая вулканическая деятельность.

В Западной Европе формируются углекислые воды с минерализацией до 3—5, реже 9 г/л (Рейнские Сланцевые горы, Чешский Лес, Шварцвальд, Центральный французский массив, Альпийские горные сооружения), имеющие гидрокарбонатный кальциевый состав.

В условиях межгорных впадин (участки платформ, Верхне-Рейнский грабен, краевые части Паннонского бассейна, внутренние зоны Предкарпатского и Закарпатского флиша и т. д.) глубокие скважины часто вскрывают более минерализованные воды гидрокарбонатно-хлоридного натриевого или хлоридного натриевого состава. Температура углекислых

Характеристика углекислых вод хлоридно-гидрокар

Область, месторождение	Тип и возраст вмещающих пород	Содержание CO <sub>2</sub> , г/л	Минерализация, г/л
<i>Ессентукский тип</i>			
Памирская Гарм-Чашма	Гнейсы, мраморы, P-Є	0,5	3,35
Закарпатская Драгово	Флишевые отложения, K <sub>1</sub>	1,3	5,7
Кавказская Теберда	Кристаллические сланцы, PZ <sub>1</sub>	2,0	6,5
Ессентуки, ист. 4	Песчаники, мергели, P	1,7	8,5
Ессентуки, ист. 17	»	2,6	13,0
Накалакеви (Вардзия)	Терригенно-карбонатные отложения, K <sub>2</sub> — P	0,6	10,3
<i>Сойминский тип</i>			
Памирская Даршай	Гнейсы, P-Є	0,5	3,5
Закарпатская Соймы	Песчаники, P	2,1	7,1
Соль	Флишевые отложения, P	1,0	7,0
Кавказская Ингушли	Метаморфические сланцы, PZ <sub>2</sub>	2,3	4,7
Танадон	Граниты, AR — PZ	1,4	5,7
Камо (Севан)	Базальты, N <sub>2</sub> — Q	2,1	3,0
Личк	Карбонатные отложения, K <sub>2</sub>	2,2	5,2
Анкаван, скв. 4	Метаморфические сланцы, PZ <sub>1</sub>	1,8	6,8
<i>Арзнинский тип</i>			
Тянь-Шаньская Яссы	Песчаники, алевролиты, J <sub>1</sub>	1,0	6,4
Сахалинская Снегорское	Песчаники, N <sub>1</sub>	2,7	26,0
Закарпатская Верхний Быстрый	Песчаники, алевролиты, P <sub>2</sub>	1,4	10,0
Горная Тисса	Песчаники, алевролиты, K <sub>2</sub>	2,9	38,5

## богатого (гидрокарбонатно-хлоридного) состава

Формула ионного состава	Биологически активные компоненты, г/л	Другие характерные месторождения
<i>Ессентукский тип</i>		
$\frac{\text{HCO}_3\text{65Cl25}}{(\text{Na} + \text{K})66\text{Ca18}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,148	Лянгар
$\frac{\text{HCO}_3\text{50Cl49}}{(\text{Na} + \text{K})88\text{Ca8}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,204 Fe 0,013	Рахов, Заричево
$\frac{\text{HCO}_3\text{69Cl30}}{(\text{Na} + \text{K})68\text{Mg17}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,08 $\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,06	Джаланкол, Думала, Ведзат-Хеви, Ваяс-Цхаро, Пасанаури,
$\frac{\text{HCO}_3\text{60Cl40}}{(\text{Na} + \text{K}) 89\text{Ca6}}$	—	Ново-благодарное
$\frac{\text{HCO}_3\text{60Cl40}}{(\text{Na} + \text{K})93\text{Mg4}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,052	
$\frac{\text{HCO}_3\text{63Cl32}}{(\text{Na} + \text{K})77\text{Ca18}}$	As 0,0016 $\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,196	Лухумис-Цхали, Джава, Нагутское
<i>Сойминский тип</i>		
$\frac{\text{HCO}_3\text{53Cl32}}{(\text{Na} + \text{K})54\text{Ca38}}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,93	Андерот, Ширгин
$\frac{\text{HCO}_3\text{58Cl42}}{(\text{Na} + \text{K})53\text{Ca33}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,084 Br 0,0023	Калачевское, Ужгород, Горная Тисса
$\frac{\text{HCO}_3\text{64Cl35}}{\text{Ca66}(\text{Na} + \text{K})27}$	—	
$\frac{\text{HCO}_3\text{63Cl33}}{(\text{Na} + \text{K})48\text{Ca36}}$	Fe 0,03 $\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,84	Лабинское, Джемагат, Малтинское Джили-Су, Адыл-Су,
$\frac{\text{HCO}_3\text{56Cl43}}{(\text{Na} + \text{K})64\text{Ca23}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,8 Fe 0,052	Верхний Баксан, Коби,
$\frac{\text{HCO}_3\text{56Cl42}}{(\text{Na} + \text{K})51\text{Ca28Mg21}}$	—	Казбег
$\frac{\text{HCO}_3\text{50Cl50}}{(\text{Na} + \text{K})65\text{Mg20}}$	—	Бадамлы, Кабахлу, Мартуни
$\frac{\text{HCO}_3\text{54Cl41}}{(\text{Na} + \text{K})65\text{Ca23}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,09 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,1	Вайхыр, Карашан
<i>Арзинский тип</i>		
$\frac{\text{Cl76HCO}_3\text{24}}{(\text{Na} + \text{K})72\text{Ca14}}$	—	Сурташ, Колубек
$\frac{\text{Cl53HCO}_3\text{46}}{(\text{Na} + \text{K})91\text{Mg5}}$	As 0,02 Br 0,06 J 0,02 $\text{H}_3\text{BO}_3$ 2,8 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,06	Волчанское
$\frac{\text{Cl69HCO}_3\text{31}}{(\text{Na} + \text{K})77\text{Ca18}}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,14	Говерла, Кобылецкая
$\frac{\text{Cl79HCO}_3\text{21}}{(\text{Na} + \text{K})92\text{Ca4}}$	Fe 0,025 $\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,633	Поляна, Кострино

Область, месторождение	Тип и возраст вмещающих пород	Содержание $\text{CO}_2$ , г/л	Минерализация, г/л
Кавказская			
Индыл	Сланцы, PZ <sub>1</sub>	2,7	19,5
Кумское	Известняки, J <sub>3</sub>	1,8	8,3
Арзни	Базальты, N <sub>2</sub>	2,6	4,3
Джульфа	Алевриты, известняки, K <sub>2</sub>	0,78	21,8

вод варьирует в широких пределах (Бад-Эмс — 43,2°C; Карлови-Вари — 71,4°C; Ля Бурбуль — 56°C и др.).

Углекислые воды широко используются в лечебных целях. В Польше основные проявления этих вод сосредоточены в Карпатах, на юго-западе Силезского бассейна и в Западных Судетах. К наиболее известным курортам относятся Крыница, Жегестов, Поляница, Щавница, Кудова и др. [Борисов, 1967]. Месторождение Крыница представлено двумя типами вод: гидрокарбонатными кальциевыми, являющимися аналогом кислородского Нарзана, и гидрокарбонатными натриевыми с минерализацией до 30 г/л. На базе месторождения Поляница функционирует один из популярнейших «сердечных» курортов. По физико-химическим свойствам воды близки к забайкальскому Дарасуну. Они используются как лечебные

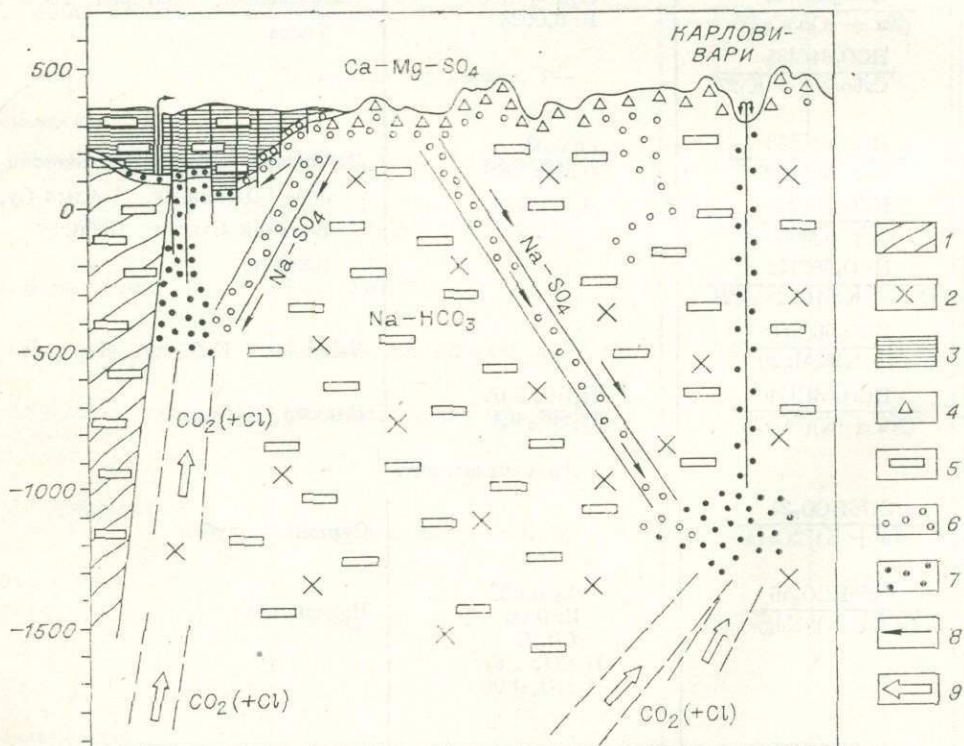


Рис. 4.7. Схема происхождения Карлово-Варского месторождения углекислых вод [Jetel, Paces, 1969].

1 — метаморфические породы; 2 — Карлово-Варский гранитный массив; 3 — породы неогенового возраста Соколовского бассейна; 4 — Ca—Mg—SO<sub>4</sub> тип вод; 5 — воды Na—HCO<sub>3</sub> типа; 6 — воды Na—SO<sub>4</sub> типа; 7 — Карлово-Варский тип вод (Na—HCO<sub>3</sub>—SO<sub>4</sub>—Cl); 8 — инфильтрационное питание; 9 — эндогенный привнос вещества.

Формула ионного состава	Биологически активные компоненты, г/л	Другие характерные месторождения
$\frac{\text{Cl}60\text{HCO}_3\text{37}}{(\text{Na} + \text{K})87}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,25 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,055	Сохта, Красногорский, Двиц, Сираб, Камо, Дараюрт
$\frac{\text{Cl}52\text{HCO}_3\text{37}}{(\text{Na} + \text{K})51\text{Ca}30}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,078 Fe 0,032	
$\frac{\text{Cl}67\text{HCO}_3\text{28}}{(\text{Na} + \text{K})69\text{Mg}18}$	$\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,08 $\text{H}_2\text{SiO}_3$ 0,09	
$\frac{\text{Cl}64\text{HCO}_3\text{30}}{(\text{Na} + \text{K})91\text{Ca}5}$	As 0,02 $\text{H}_3\text{BO}_3$ 0,5	

под названием «Велька Пенява» и «Юзеф» и как столовая вода под названием «Старополянска». Аналог Эссентуков — воды курорта Щавница, которые также идут на розлив. Некоторые проявления углекислых вод Польши обладают повышенной радиоактивностью. Так, на курорте Щавно используют углекислые воды с содержанием радона порядка 5,3—5,5 иКи/л. Вода двух источников этого месторождения (Домбувка, Мешко) идет на экспорт.

По количеству и разнообразию минеральных источников одно из первых мест в Европе занимает Чехословакия. На ее территории известно свыше 950 проявлений минеральных вод, на базе которых действует более 50 курортов, в том числе старейшие, всемирно известные курорты Европы — Карлови-Вари, Марианские Лазне, Франтишковы Лазне, Подебрады, Лугачовице, Слиач, Бардееве и многие другие.

Месторождение Карлови-Вари представляет собой мощный очаг разгрузки углекислых вод, приуроченный к зоне тектонических нарушений в гранитном массиве (рис. 4.7), проходящей в долине р. Теплы. На месторождении выявлено более 75 источников, из которых 12 используются для бальнеолечения на курорте. Вода источников сульфатно-гидрокарбонатная натриевая с минерализацией 6,4—7,5 г/л и различаются они лишь температурой (42—72°C) и содержанием  $\text{CO}_2$  (0,37—0,75 г/л). Из общего количества (3000 м<sup>3</sup>/сут) 90% воды дает источник-гейзер Вржидло (Шпрудель), фонтанирующий на высоту 12 м. Из минеральных вод месторождения получают известную карловарскую соль, которую экспортируют в разные страны. Вода одного из источников (Мельничного) разливается в бутылки. Углекислые воды курорта Слиач, расположенного в Средней Словакии, аналогичны кисловодскому Нарзану. Основой курорта служат минеральные воды с содержанием углекислоты до 2,5 г/л. Главным является источник с температурой 33°C, вода которого используется для лечебных ванн и купаний. Вода других источников применяется в основном для питьевого лечения.

В Венгрии большинство выходов углекислых вод сосредоточено в Задунайском Среднегорье. На наиболее крупных месторождениях углекислых вод функционируют такие известные курорты Венгрии, как Балатонфюре и Парадфюре (аналоги кисловодского Нарзана), Бюкксек (типа Эссентуков и Боржоми) и др.

Богата минеральными водами Румыния, где действуют 172 курорта, в том числе 20 международного класса. В стране имеется 25 станций розлива минеральных вод. Углекислые воды развиты в основном в Восточных Карпатах: щелочные (Бодок, Ковесна, Малнаш и др.), железистые (Ватра-Дорней, Цату-Дорней, Харгита и др.), радиоактивные и мышьяковистые. Наиболее минерализованные воды приурочены к внутренним зонам Предкарпатского и Закарпатского флиша. Наряду с углекислотой в их газовом составе отмечается сероводород. На месторождениях углекислых вод базируются известнейшие бальнеологические курорты Ру-

Характеристика углекислых вод хлоридного состава

Область, месторождение	Тип и возраст вмещающих пород	Содержание CO <sub>2</sub> , г/л	Минерализация, г/л	Формула ионного состава	Биологически активные компоненты, г/л	Другие характерные месторождения
Закарпатская Вучково	Песчаники, P <sub>2</sub>	1,9	20,0	$\frac{Cl85HCO_315}{(Na + K)96Ca4}$	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 0,18	Соль, Усть-Черна, Майдан
Вышково	Вулканогенно-осадочные породы, N <sub>2</sub>	1,4	130,0	$\frac{Cl98SO_41}{(Na + K)91Ca6}$	Fe 0,038 Br 0,045 J 0,065	Розовка
Кавказская Азатаван	Песчано-глинистые породы, P <sub>2</sub> — K <sub>2</sub>	1,0	36,0	$\frac{Cl91HCO_36}{(Na + K)97Ca3}$	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,065 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 3,4 Br 0,074 J 0,005	Раздан, скв. 4
Двин, скв. 50	Песчаники, алевролиты, P <sub>2</sub>	1,2	39,0	$\frac{Cl80HCO_310}{(Na + K)83Ca7}$		Каракала
Птгни	Соленосные глины, P <sub>2</sub>	2,5	92,0	$\frac{Cl98HCO_32}{(Na + K)92Ca5}$	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,1 H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 0,118 Br 0,065 J 0,017	

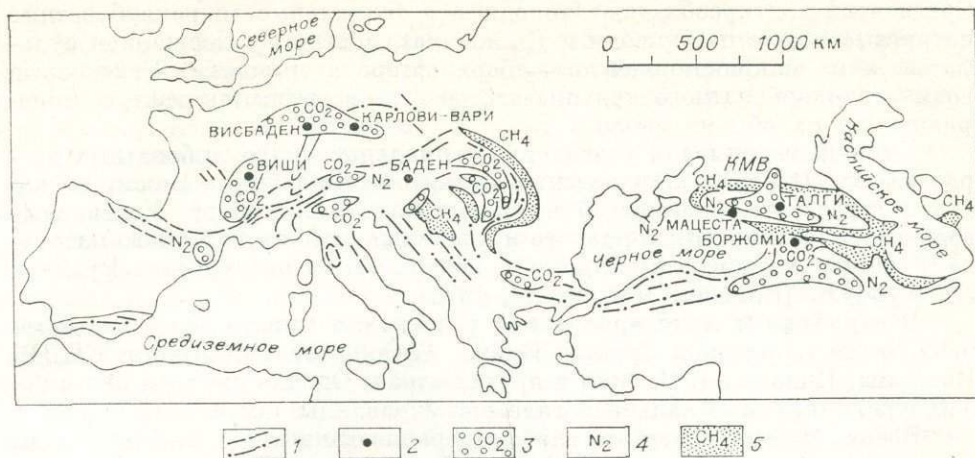


Рис. 4.8. Схема зональности минеральных вод области альпийской складчатости [по А. М. Овчинникову].

1 — направление главных складок; 2 — крупные месторождения минеральных вод; 3—5 — районы распространения терм: 3 — углекислых, 4 — азотных, 5 — метановых.

мынии (Бузиаш, Борсек, Тинка и др.). Курорт Борсек называют жемужиной Карпат. Для бальнеологических процедур на курорте используют углекислую кремнистую воду с повышенным содержанием  $\text{HCO}_2$  (до 58 мг/л). Вода же двух главных источников — «Принсипаль» и «Республика» — идет на розлив (минеральная вода Борсек самая популярная в Румынии). Другой известный курорт страны — Ватра-Дорней — функционирует на холодных углекислых водах, содержащих до 84 мг/л железа. Крупные бальнеологические курорты — Слэник-Молдова и Синджорз — используют минеральные воды, близкие по составу Эссентукам. В ГДР углекислая вода дарасунского типа является гидроминеральной базой курорта Шандау. Курорт Бад-Эльстер, расположенный на юге Саксонии, применяет гидрокарбонатно-сульфатные натриевые воды с повышенным содержанием железа, кремнекислоты и до 70 мг/л лития (источник Кенигсвелле). В ФРГ очень популярны Наугеймские источники, выводящие хлоридную натриевую углекислую (7,5 г/л) воду, относящуюся к сойминскому типу, на базе которых функционирует крупный курорт.

В Югославии установлено около 300 проявлений углекислых минеральных вод, среди которых много аналогов Нарзана, Боржоми и Эссентуков. Они широко используются для питьевого лечения, ванн, ингаляций и других бальнеологических процедур на 49 курортах и десятках местных бальнеолечебниц.

Базой известного курорта Врнячка Баня (Сербия) служат холодные и термальные (до 88°C) кремнистые углекислые воды гидрокарбонатного натриевого состава с минерализацией до 3 г/л. На курорте Липик (Хорватия) для лечебных целей применяются углекислые воды с температурой 60°C и повышенным содержанием йода (до 13 мг/л). Один из старейших курортов Югославии Рогошка-Слатина (Словения) базируется на углекислых сульфатно-гидрокарбонатных магниевонариевых водах, имеющих минерализацию до 10 г/л. Воды этого месторождения используются для бальнеолечения и идут на розлив. Севернее расположен курорт Слатина-Раденцы, воды которого по терапевтическому влиянию близки к Эссентукам, они также идут на розлив.

С давних пор используются в бальнеологии углекислые воды во Франции. Основные проявления этих вод сосредоточены в пределах Центрального французского массива, на восточном склоне Вогезов, в Предальпах и Провансе, в восточной и западной части Пиренеев (рис. 4.8). Минерализация воды варьирует от 0,5 до 10 г/л, редко достигает 25—30 г/л.

Среди этих вод преобладают холодные и термальные гидрокарбонатные натриевые (аналоги Боржоми и Дилижана), иногда с содержанием сульфатов, а из микрокомпонентов — бора, фтора и мышьяка. Углекислые воды гидрокарбонатного кальциевого состава встречаются реже, и минерализация их обычно около 1 г/л.

Типичным примером углекислых термальных гидрокарбонатных на-риевых вод Центрального массива служит месторождение Виши, на котором действует одноименный всемирно известный курорт. Углекислые воды гидрокарбонатно-хлоридного и хлоридно-гидрокарбонатного натриевого состава с температурой до 56°C используются на курортах Руайя и Ля Бурбуль [Voineau, Maisonneuve, 1973].

В зарубежной Азии проявления углекислых минеральных вод установлены на территории Турции, Ирана, Афганистана, Монголии, КНДР, Вьетнама, Индонезии, Японии и других стран. Однако изучены они в целом слабо, крупные бальнеологические здравницы там весьма редки.

В большинстве своем это слабоминерализованные (до 4—5 г/л) воды с содержанием углекислоты до 3 г/л и более, сложного ионного состава. Реже встречаются соленые, преимущественно гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные воды с минерализацией до 25 г/л и температурой до 40°C. На северо-востоке Турции и севере Ирана в углекислых водах отмечается высокая концентрация метаборной кислоты. Радоновые (7 нКи/л) гидрокарбонатные кальциевые углекислые термальные воды, используемые в бальнеотерапии, известны в Индии. Здесь же имеются источники гидрокарбонатно-хлоридного натриевого состава с температурой воды до 71°C.

Известны углекислые воды на юге Африки (Конго, Уганда и др.) и в Южной Америке. В Чили, например, углекислые воды с температурой 20—45°C применяются в лечебных целях и разливаются в бутылки. Широко углекислые воды распространены на западном побережье Северной Америки. Это преимущественно хлоридные натриевые воды невысокой минерализации, которые используются на курортах для ванн.

Углекислые источники — наиболее представительная группа минеральных вод Северной Африки. В горах Атласа на территории Алжира насчитывается более 100 минеральных источников, включая термальные воды, которые обладают лечебными свойствами. При этом вода лишь единичных источников используется для лечебных целей и розлива. Здесь имеются как холодные, так и горячие (до 80°C) углекислые воды [Пантелеев, Голубев, 1978; Гидрогеология Африки, 1978].

Холодные углекислые воды с минерализацией до 4,4 г/л преимущественно гидрокарбонатного кальциево-натриевого, реже хлоридного и сульфатного состава. Наиболее популярными представителями этого типа являются Бен-Харун, Музайя, Бу-Хаджар, Азрез. Вода скважины «Музайя» используется заводом розлива и называется «Заводской», а ранее называлась «Леблан» по одноименному источнику углекислых щелочных вод группы Виши. На базе углекислых источников Бу-Хаджар действует курорт местного значения с примитивными лечебными учреждениями, углекислая хлоридная натриевая вода месторождения Азрез с 1926 по 1966 г. разливалась в бутылки под названием «Сен-Антуан».

Термальные углекислые воды известны в Алжире, Марокко, Тунисе. Кроме слабоминерализованных (источник Лалла-Хайя в Центральной Месете Марокко и др.) здесь распространены хлоридные натриевые углекислые термы с минерализацией до 60 г/л — Эль-Бибан, Айн-Ментила, Биадха и др. В воде источника Айн-Ментила присутствует до 160 мг/л сероводорода. В Восточно-Африканской области проявления углекислых термальных вод встречаются в Руанде, Бурунди, Танзании, Заире, Эфиопии. Минерализация их не превышает 4,0 г/л, а в составе преобладают гидрокарбонаты и натрия (источники Машьюза, Рухва, Рамбо и др.). Углекислые воды близкого состава развиты на о. Мадагаскар и в Камеруне.

### 4.3.3. Радоновые воды

Воды с концентрацией радона менее чем 5 нКи/л\* относятся к радоновым лечебным только в тех случаях, когда процедуры можно проводить непосредственно в проточных бассейнах (ваннах), куда вода поступает без предварительного подогрева.

Среди большого разнообразия радоновых вод только в группе кислородно-азотных слабоминерализованных холодных вод радон является единственным и основным компонентом, определяющим возможность отнесения их к минеральным лечебным, «собственно радоновым». Эти воды широко распространены в СССР и выделены В. В. Ивановым и др. [1960] в самостоятельную провинцию минеральных вод. Воды, в которых лечебное действие радона сочетается с лечебным действием других компонентов или свойств ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ , минерализация,  $T$  и др.), рассматриваются как азональные воды сложного состава.

Радоновые воды характеризуются широким диапазоном концентрации радона (от единиц до тысяч нКи/л). Большинство их месторождений связано с массивами кислых интрузивных (в меньшей мере метаморфических) пород. Сюда относятся воды гранитных массивов Урала, Забайкалья, Украинского щита, Томь-Колыванской области. Радоновые воды с высокой активностью формируются в зонах тектонических разломов, омоложенных новейшими движениями, для которых характерно наличие различной радиоактивной минерализации [Елманова, Арбузов, 1975; и др.].

Повсеместно выходы радоновых вод на поверхность контролируются глубинными разломами — в Забайкалье они приурочены к разломам Монголо-Охотской структурной зоны, к Чикой-Ингодинскому и Быльринскому; в пределах Украинского щита — к Верхне-Бужскому и т. д.

По особенностям газового и химического состава среди радоновых вод Н. М. Елманова и В. А. Арбузов [1975] выделяют несколько типов (табл. 4.11).

Радоновые воды распространены в основном в пределах Украинского и Балтийского щитов Русской платформы, в окаймляющих Сибирскую платформу выступях складчатого фундамента и восточном склоне Урала, где являются нередко единственными представителями лечебных вод.

На площади Украинского кристаллического массива развиты в основном радоновые кислородно-азотные воды с минерализацией 1—1,5 г/л, реже до 4,5 г/л. В Житомире, Белой Церкви, Александрии и Хмельнике на их базе функционируют бальнеолечебницы и курорты. Содержание радона в водах месторождений различно: 9—10 нКи/л — в Житомире, 7—24 — Белой Церкви, 10—100 — Хмельнике. На последнем известны углекислые воды с радоном — это единственное на Украине месторождение углекисло-радоновых вод.

На Балтийском щите холодные слабоминерализованные воды с содержанием радона от 30 до 340 нКи/л разведаны в районе Хапунваара и вскрыты скважинами в районе Карташи (радона до 90 нКи/л).

Минеральные воды с содержанием радона до 10—22 нКи/л и более широко распространены на восточном склоне Урала, где они выходят на поверхность в виде многочисленных слабоминерализованных гидрокарбонатных кальциевых источников (Липовские, Вишневогорские и др.). В водах, выведенных скважинами из тектонически нарушенных зон, концентрация радона достигает 470 нКи/л (курорт Увильды).

В Восточном Забайкалье крупным месторождением углекислых радоновых вод является Молоковское, расположенное в 18 км от г. Читы и приуроченное к разломам, оперяющим зону дробления в гранитной интрузии. Трещинно-жильные воды по составу гидрокарбонатные магниевокальциевые с минерализацией от 0,6 до 1,4 г/л. Содержание радона

\* 1 нКи/л = 10 эман = 2,8 ед. Махе.

Характеристика основных типов радоновых вод

Подгруппа	Гидрохимический тип вод	Характерные гидрохимические особен			
		Газо- вый состав	Минера- лизация, г/л	Основные компонен- ты ионного состава	Специфичес- кие компонен- ты и показа- тели, имее- щие лечеб- ное значение
Простого состава (Rn — единственный лечебный компонент)	Кислородно-азотные, слабоминерализованные (разного ионного состава), холодные	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	1,0	$\frac{HCO_3, SO_4, Cl}{Ca, Mg, Na}$	Отсутствуют
Сложного состава (Rn в сочетании с другими лечебными компонентами и свойствами)	Азотные, щелочные термы, слабоминерализованные, кремнистые (сложного, анионного состава, натриевые)	N <sub>2</sub>	1,0	$\frac{HCO_3, SO_4, Cl}{Na}$	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , температура
	Азотные термы, средниминерализованные хлоридного кальциевого состава Углекислые слабоминерализованные (гидрокарбонатные кальциевые, магниевые-кальциевые) холодные Углекислые, слабо- и средниминерализованные (сложного ионного состава), субтермальные	N <sub>2</sub>  CO <sub>2</sub>  CO <sub>2</sub>	до 15—20  2,0  1,5—3,0	$\frac{Cl}{Ca, Na}$  $\frac{HCO_3}{Ca, Mg}$  $\frac{Cl, HCO_3, SO_4}{Na, Ca, Mg}$	Минерализация, температура  CO <sub>2</sub> , Fe  CO <sub>2</sub>
	Азотные, азотно-метановые, различной минерализации (до рассольных), хлоридно-натриевого, иногда кальциево-натриевого состава, холодные	N <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	15—100	$\frac{Cl}{Na, Ca}$	Минерализация, температура, возможно Br, J, H <sub>2</sub> S

10—110 нКи/л. На базе этого месторождения действуют курорт и завод розлива. Аналогичные Молоковским воды Ургучанского месторождения содержат до 20 нКи/л радона и служат базой небольшого санатория.

Радоновые кремнистые азотные термальные воды представлены широко известным месторождением Белокуриха, расположенным в предгорьях Алтая. Здесь скважины с глубины 200—300 м выводят азотные слабоминерализованные (0,3 г/л) щелочные (рН 9,3) термы (31—42°C) гидрокарбонатно-сульфатного натриевого состава с повышенным содержанием кремнекислоты (50—58 мг/л) и фтора (до 18 мг/л). Количество радона в водах 7—14 нКи/л, в единичных случаях до 25 нКи/л. На базе этого месторождения функционирует крупнейший в Сибири бальнеологический курорт.

Азотные слабоминерализованные сульфатные кальциево-натриевые термальные (43°C) воды с содержанием радона до 10 нКи/л известны в Восточном Саяне на склоне Тункинских Альп, где они вскрыты скважинами среди гранитов в Ниловой Пустыни. Воды используются местной бальнеолечебницей.

В Центрально-Казахстанской складчатой области радоновые воды обнаруживаются в коре выветривания кристаллических пород. В Атасуй-

[по Н. М. Елмановой, В. А. Арбузову, 1975]

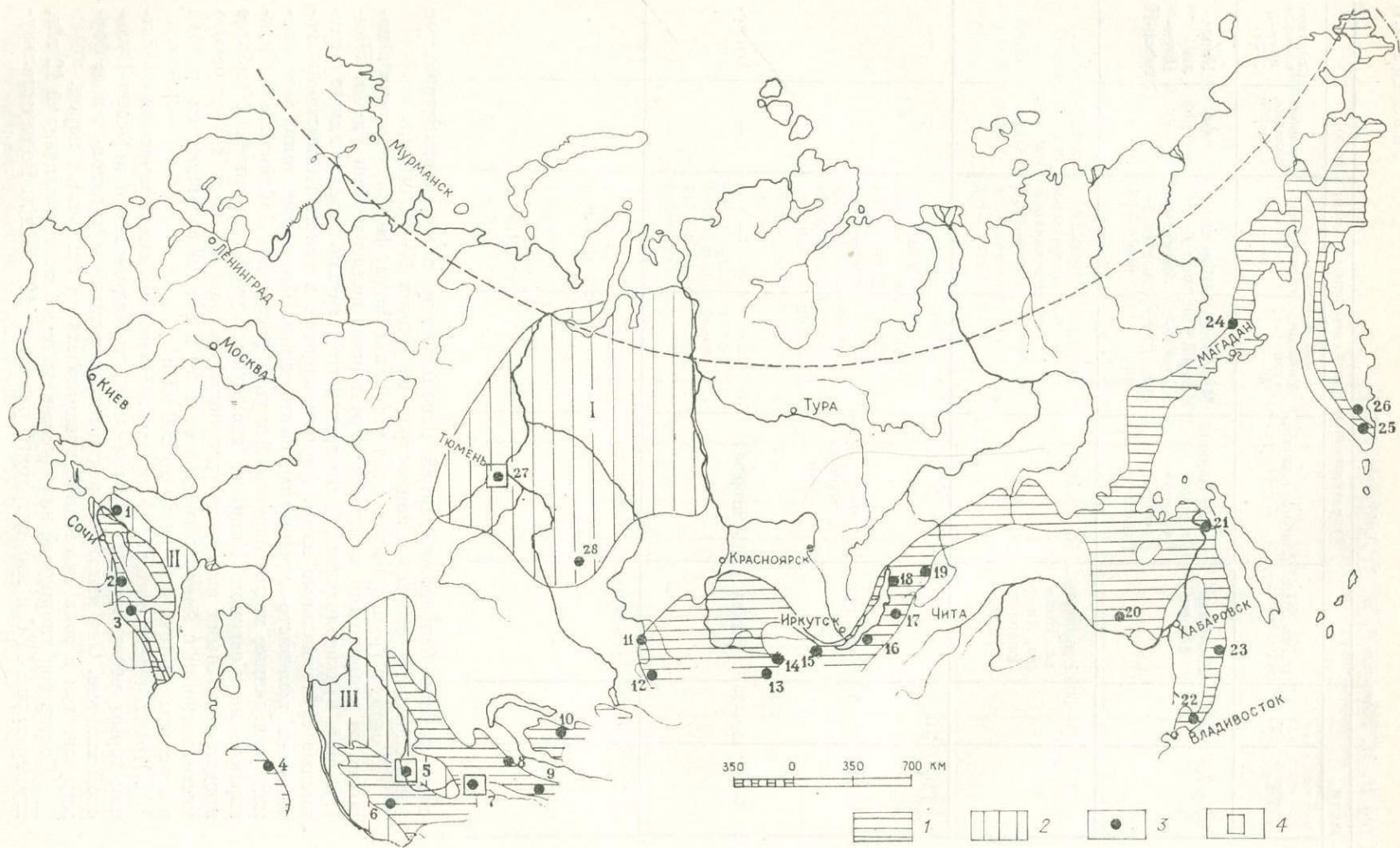
ности		Радиохимический тип (содержание радона, нКи/л)					
pH	T, °C	Очень слабо радоновые, 5— —20	Слабо радоновые, 20—40	Умеренно радоновые, 40—80	Среднерадо- новые, 80—120	Высокора- доновые, 120—200	Сверхвы- сокорадо- новые, > 200
6,5—7,5	до 10	Житомир, Корец	Белая Церковь Липовка Куинское Карташи Песчаное	Мироновка, Кривой Рог, Хапунва- ара, Кисе- гач	Новохмель- ник Знаменка Александр- рия	Колы- ванское	Увиль- ды Пяти- горск-II
7,0	20—50	Белокури- ха, Былы- ры, Ак-су, Джаркент- Арасан	Нагорное	Мерке	—	—	—
7,0	40—45	—	—	—	Джеты- Огуз	—	—
6,7	до 5	Хмельник	Ургучан, Дара- сун-Нерчин- ский	—	Медоковка	—	—
6—7	20—25	Ямкун	Пятигорск-I	—	—	—	Багыр- сах
7	до 10	Усть-Кут	Каймоново	—	—	—	—

ском районе бальнеолечебницей используются слабоминерализованные воды сложного состава с концентрацией радона 17—45 нКи/л.

В особую группу выделяются радоновые воды, формирующиеся в породах со вторичными высокоэманирующими коллекторами радия. Наибольший бальнеологический интерес в этой группе представляют углекислые субтермальные воды, формирующиеся в толще глинисто-травертиновых железисто-карбонатных отложений. Примером таких вод служат разведанные месторождения Ямкун в Восточном Забайкалье и Пятигорск — на Северном Кавказе, где существуют здравницы. Наиболее представительными являются углекислые радоновые воды Пятигорского месторождения с минерализацией от 2 до 5 г/л и содержанием радона в отдельных источниках от 20 до 200 нКи/л.

Практический интерес имеют уникальные по специфическим свойствам термы месторождения Джеты-Огуз, расположенного в Иссык-Кульской впадине. Они являются редким представителем радоновых вод, формирующихся в зоне экзогенной трещиноватости осадочных пород.

Состав вод хлоридный кальциево-натриевый с минерализацией 12 г/л, температурой 44°C и концентрацией радона до 125 нКи/л. Воды использу-



ются на одноименном курорте для бальнеопроцедур и в качестве лечебно-питьевых.

Среди рассматриваемой группы вод бальнеологический интерес представляют холодные (7—10°C) хлоридные натриевые рассолы месторождения Усть-Кут, расположенного в Ангаро-Ленском артезианском бассейне. Лечебное воздействие радона (до 12 нКи/л) в этих водах сочетается с высокой минерализацией воды (до 150 г/л).

Радоновые слабоминерализованные сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные кремнистые термальные воды широко распространены в Западной Европе. В Болгарии на них функционируют известные курорты Момин-Проход, Овча-Купел, курорт им. Георгия Димитрова, Хисар (источники Момина-Баня, Момина Слеза и др.) и Наречен, вода которого содержит наибольшее из всех радоновых вод страны количество радона — 112 нКи/л. В Венгрии на курорте Будапешт радоновые термы используются водолечебницей Геллерт-фюрде. Слабоуглекислые гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией до 2 г/л, содержащие исключительно большое количество радона (до 753 нКи/л), используются на курорте Брамбах в ГДР. В Польше радоновые кремнистые термы эксплуатируются на курорте Лондек. К радоновым относятся также холодные источники курортов Сверадува, углекислые источники Кудова и Щавно. Особенность вод курорта Кудова — присутствие в них значительных количеств мышьяка.

Широко известны радоновые термы курорта Яхимов в Чехословакии, содержащие до 166 нКи/л радона (источник Кюри) и курорта Теплице в Чехии.

Радоновые минеральные воды распространены и на других континентах. В Африке, например, на базе месторождения Бу-Ханифья функционирует популярный курорт — Алжира, отдельные источники которого содержат до 48 нКи/л радона, в Азии радоновые воды известны в Японии, Китае, Монголии, Южной и Северной Корее и других странах.

#### 4.3.4. Кремнистые термальные воды

Воды этой группы образуют самостоятельную провинцию минеральных вод, занимающую Юг и Восток территории СССР (рис. 4.9). Эта провинция охватывает как районы молодого орогенеза, так и древние кристаллические массивы и складчатые области, характеризующиеся процессами новейшего горообразования, высокой сейсмической активностью и широким развитием разрывных дислокаций с оперяющими их зонами трещиноватости.

Воды имеют низкую минерализацию (до 2 г/л) с преобладанием в катионном составе натрия, высокое содержание кремнекислоты от 50 до 160 мг/л и высокую щелочность (рН вод до 9,6). Кроме кремнекислоты в водах часто встречается фтор, концентрация которого может быть очень значительной, а также целый ряд других микрокомпонентов. Температура колеблется от 20 до 100°C.

По комплексу геоструктурных, гидрогеохимических и гидрогеотермических условий на территории СССР выделяется 11 областей и районов с существенно различным масштабом проявлений азотных кремнистых термальных вод: Восточно-Кавказская, Центрально-Памирская, Тянь-Шаньская, Алтайская, Тувинская, Саяно-Байкальская, Южно-За-

Рис. 4.9. Схема распространения кремнистых термальных вод [по Л. Н. Барабанову, В. Н. Дислеру, Г. С. Варганияну, Б. Ф. Маврицкому, В. В. Иванову].

1 — распространение азотных кремнистых термальных вод в складчатых областях, испытывающих новейшие тектонические движения; 2 — распространение азотных и метановых термальных вод в эпипалеозойских платформах (I — Западно-Сибирская, II — Скифская, III — Туранская); 3 — основные здравницы и источники (1 — Горячий Ключ, 2 — Цхалтубо, 3 — Тбилиси, 4 — Арчман, 5 — Ташкент, 6 — Ходжа-Оби-Гарм, 7 — Джелал-Абад, 8 — Алма-Арасан, 9 — Джеты-Огуз, 10 — Капал-Арасан, 11 — Белокуруха, 12 — Рахмановские, 13 — Тарыс, 14 — Уш-Белдир, 15 — Нилова Пустынь, 16 — Горячинск, 17 — Гагра, 18 — Хакусы, 19 — Баунт, 20 — Кульдур, 21 — Анненские, 22 — Вангоу, 23 — Амгу, 24 — Талая, 25 — Озерновские, 26 — Паратунка, 27 — Тюмень, 28 — Карачи); 4 — основные заводы розлива.

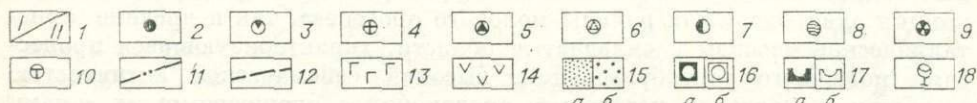
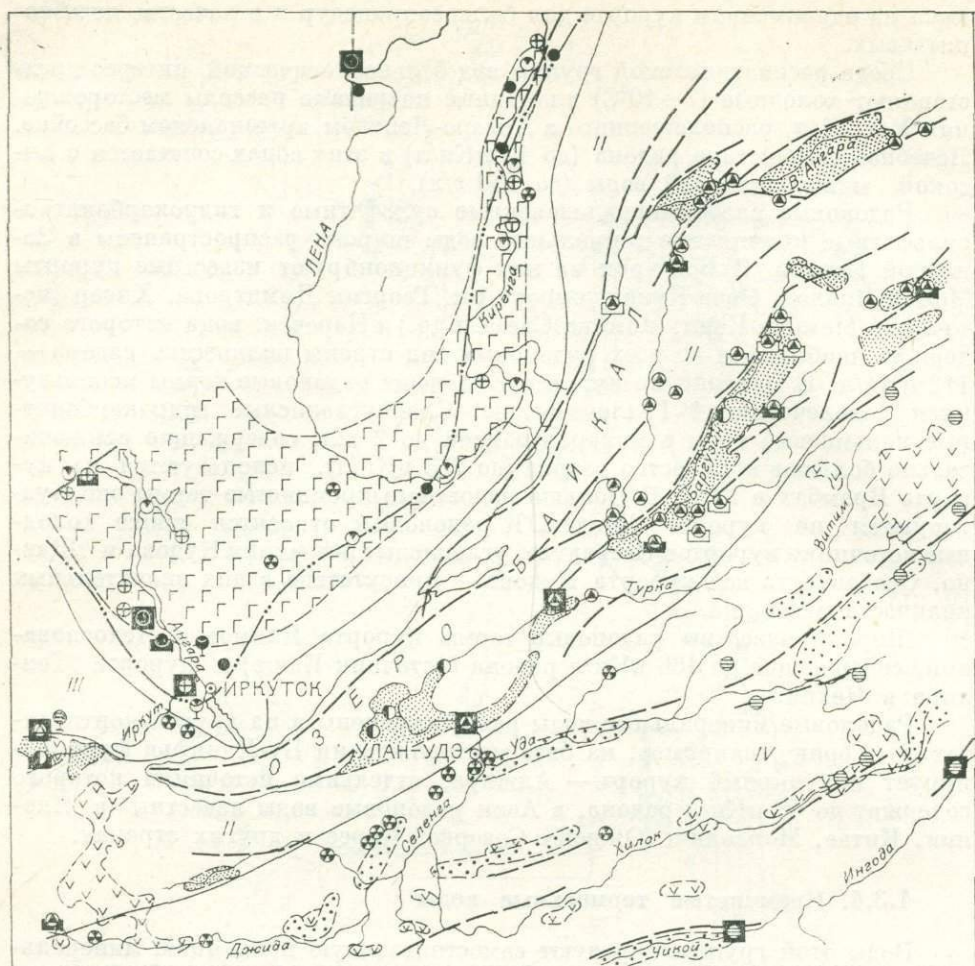


Рис. 4.10. Карта минеральных вод Прибайкалья (составили Ю. И. Кустов, И. С. Ломоносов, Е. В. Пиннекер).

1 — гидротермальные области: I — Восточно-Сибирская область азотных, азотно-метановых и метановых хлоридных и сульфатных соленых вод и рассолов с локальным развитием сероводородных и радоновых вод, II — Байкальская область азотных и метановых терм, III — Восточно-Саянская область термальных и холодных углекислых вод, IV — Даурская (Забайкальская) область холодных углекислых вод и локального развития азотных и углекислых терм; 2 — хлоридные соленые воды и рассолы; 3 — сульфатные соленые воды; 4 — сероводородные соленые воды и рассолы; 5 — азотные кремнистые термы; 6 — углекислые и 7 — метановые термы; 8 — углекислые и 9 — радоновые холодные воды; 10 — пресные воды с повышенным содержанием органического вещества битумно-нефтяного ряда; 11 — южная граница распространения каменной соли; 12 — основные зоны тектонических нарушений; 13 — площадь распространения гипсоносных пород, перспективная на сульфатные минеральные воды; 14 — площади проявления кайнозойского вулканизма, перспективные на углекислые термы; 15 — межгорные впадины байкальского типа с возможными проявлениями азотных и метановых терм (а) и забайкальского типа, где термальные воды не обнаружены (б); 16 — курорт действующий (а) и строящийся (б); 17 — водолечебница с медцинским обслуживанием (а) и без него (б); 18 — завод розлива минеральной воды.

байкальская, Зейско-Буреинская, Южно-Приморская, Северо-Охотская, Чукотская [Барабанов, Дислер, 1968; Иванов, 1960; Ткачук, 1959; Толстихин, 1935; и др.]

Одной из классических областей развития азотных маломинерализованных кремнистых термальных вод, является Байкальская гидроминеральная область (рис. 4.10), приуроченная к Байкальской рифтовой зоне. Здесь выделяются горячинский, аллинский, кульдурский и питателевский типы азотных термальных вод, различающихся как по макро-, так и микрокомпонентному составу.

В Байкальской рифтовой зоне известно 65 групп источников с преобладающей температурой воды 20—60°C. Однако имеются очаги разгрузки высокотермальных вод (60—84°C) с дебитом до 100 л/с и более. Суммарный дебит источников азотных кремнистых термальных вод превышает 1000 л/с [Ломоносов, 1974]. По ионно-солевому составу большинство терм Байкальской рифтовой зоны — сульфатные натриевые. Содержание кремнекислоты варьирует от 50 до 130 мг/л, фтора — достигает 26 мг/л. В водах некоторых источников (Умхейский, Аллинский и др.) отмечено повышенное (до 30 мг/л) содержание сероводорода. Типичными представителями азотных кремнистых терм служат известные месторождения этих вод — Горячинское, Питателевское и Уш-Белдир.

На Гаргинском, Баунтовском, Хакусском, Аллинском, Гусихинском, Жемчужском и некоторых других источниках, кроме курортов, построены сезонные водолечебницы и дома отдыха, использующие термальные воды в лечебных целях. Для строительства водолечебниц, особенно в связи с прокладкой БАМа, перспективны специфические фторидно-гидрокарбонатные натриевые термы, выходы которых находятся на западном берегу оз. Байкал у мыса Котельниковского, Дзелиндинские и Ирканинские на р. Верхняя Ангара, в Баргузинской долине (источники Кучехирский, Умхейский, Сеюйский) и в районе оз. Баунт (источники Ципинский и др.). По типу вода этих источников близка к лечебной воде курортов Горячинск и Кульдур.

В Восточном Саяне широко известны Тарыские источники, которые в летнее время посещают до 4 тыс. чел. [Пиннекер, 1968], однако организация курорта на базе этого месторождения затруднена из-за значительной отдаленности от населенных мест. На границе Западного Саяна и Алтая выходят термальные (37°C) воды гидрокарбонатного магниево-натриево-кальциевого состава (Абаканские источники) с минерализацией 0,3 г/л и содержанием кремнекислоты до 75 мг/л, которые используются в лечебных целях местным населением.

Большое число проявлений азотных терм известно на Тянь-Шане. Очаги разгрузки наиболее нагретых вод приурочены к разломам в кислых палеозойских интрузиях, протягивающихся вдоль южного склона Гиссарского хребта. Типичным примером может служить уникальное по температуре (98°C) месторождение Ходжа-Оби-Гарм. На месторождении скважины выводят щелочные (рН 9,2) хлоридно-гидрокарбонатные натриевые воды с температурой от 64 до 98°C, минерализацией до 0,5 г/л, содержанием кремнекислоты до 130 мг/л и фтора до 26 мг/л. Здесь функционирует один из наиболее крупных курортов Таджикистана.

Среди азотных терм на юге Тянь-Шаня выделяется также месторождение Оби-Гарм, расположенное в небольшой молодой эрозионно-тектонической впадине. Здесь скважинами выведены термальные (54°C) воды хлоридно-сульфатного кальциево-натриевого состава с минерализацией 0,8 г/л, содержанием кремнекислоты 50 мг/л и фтора до 8,5 мг/л.

В пределах Киргизского хребта (северный склон Тянь-Шаня) расположен курорт, использующий азотные слабоминерализованные кремнистые термы Иссык-Ата. Очаг разгрузки приурочен к зоне разлома, секущего толщу метаморфических сланцев и прорывающую их интрузию порфировидных гранитов. Хлоридно-сульфатные натриевые воды имеют минерализацию 0,25 г/л, температуру 50—54°C, содержат 41 мг/л кремнекислоты, 3,4 мг/л сероводорода и 6,6 мг/л фтора.

К северу от Тянь-Шаня проявления азотных слабоминерализованных кремнистых терм известны в Заилийском Алатау, Джунгарском и Алтайском хребтах, а также в некоторых межгорных впадинах. Выходы вод на поверхность приурочены к зонам глубоких тектонических разломов. Здесь насчитывается около 25 групп источников. Наиболее известные из них — Алма-Арасан, Арсан-Копал и Рахмановские ключи — послужили основой для создания курортов и санаториев. Ионный состав вод различный. Минерализация колеблется от 0,2 до 1,8 г/л, температура 36—38°C, содержание кремнекислоты от 20 до 75 мг/л, фтора — 3—25 мг/л.

в некоторых источниках присутствует до 24 мг/л сероводорода.

На Востоке СССР в пределах Амуро-Сихота-Алинской мезозойской провинции азотные кремнистые термы — главные представители лечебных минеральных вод. Наиболее крупное месторождение Кульдур расположено в пределах Малого Хингана и приурочено к тектонически раздробленному гранитному массиву. Минерализация воды 0,4 г/л, содержание кремнекислоты 100—110 мг/л, фтора 10—12 мг/л, температура 72°C. Вторым крупным месторождением является Талое, расположенное к северо-востоку от Магадана. Температура воды в очаге разгрузки достигает 85—90°C. Присутствуют кремнекислота (150 мг/л) и фтор (20 мг/л). Оба месторождения служат базой основных бальнеологических курортов Дальнего Востока — Кульдур и Талая. Другие источники (Анненские, Вангоу, Тумнинские) используются небольшими бальнеолечебницами или местным населением.

Азотные щелочные слабоминерализованные кремнистые термы широко развиты на Камчатке, где они представляют собой характерную группу, четко отграничивающуюся от других типов камчатских термальных вод. Азотные термы связаны здесь с вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами мезозоя и концентрируются в основном в областях развития раннечетвертичного вулканизма. Очаги разгрузки терм контролируются крупными зонами молодых тектонических разломов и образуют «термальные линии» [Иванов, 1960, 1961]. Температура вод на выходе варьирует от 25—40 до 100°C. В основном это хлоридно-сульфатные натриевые воды с минерализацией до 1,5 г/л и содержанием кремнекислоты до 130—150 мг/л. На ряде крупных месторождений азотных терм Камчатки (Паратунская группа, Начикинское) функционируют санатории. Воды большинства других групп источников используются местными бальнеолечебницами.

Азотные слабоминерализованные кремнистые термы известны и в районах альпийской складчатости — на Памире, Копетдаге, Кавказе. На Памире область их проявления прослеживается в бассейнах рек Гунт, Шахдара, Мургаб и тяготеет к зоне дробления краевого разлома (Гунт-Аличурский), секущего гранитные массивы.

Более широко данный тип вод с минерализацией до 1 г/л представлен в пределах Кавказской складчатой области — в юго-восточной части Главного Кавказского хребта и на Малом Кавказе. Здесь около 45 групп источников с температурой в основном от 20 до 40°C. Термальные воды, выведенные в Зугдиди с глубины 1500 м, имеют температуру до 91°C и содержат 62 мг/л кремнекислоты. Перегретые воды с температурой на выходе 115°C известны в 15 км к северо-востоку от Очамчире, где они выведены скважиной с глубины 2300—3300 м из известняков нижнего мела [Минеральные воды СССР, 1974].

На курорте Гагра для лечебных ванн широко применяются слабосероводородные (до 28 мг/л) кремнистые термальные сульфатные магниево-кальциевые воды, в газовом составе которых преобладает азот.

На Малом Кавказе азотные кремнистые термы распространены в основном в Аджаро-Триалетской складчатой области. Известным месторождением является Абастумани, на базе которого функционирует одноименный курорт. Здесь же расположено Тбилиское месторождение слабосероводородных (до 14 мг/л) слабоминерализованных (менее 1 г/л) метаново-азотных термальных вод. С давних пор его воды используются «серными» банями, а с 1936 г. и для ванн на бальнеологическом курорте.

Кроме азотных кремнистых терм, составляющих особую группу лечебных вод, кремнекислота в пределах бальнеологической нормы часто присутствует в углекислых и метановых (азотно-метановых) минеральных водах.

Углекислые кремнистые термы по сравнению с азотными имеют более высокую минерализацию (3—7 г/л, реже до 10—15) и представляют собой очень ценную в лечебном отношении группу минеральных вод (см. табл. 4.12). Кремнистые углекислые воды известны в горно-складчатых

сооружениях Восточного Саяна, Кавказа, Памира, Тянь-Шаня и Камчатки. В Восточном Саяне большой популярностью пользуется углекислый радоновый термальный (32—35°C) источник Шумак с гидрокарбонатной щелочно-земельной водой. Содержание углекислого газа в нем достигает 2,68 г/л, кремнекислоты 47 мг/л, а радона 55 нКи/л. Здесь же на Чойганских термальных радоновых источниках, по составу близких к Шумацким, дополнительным лечебным фактором является «сухой» углекислый газ. На Малом Кавказе примером таких вод могут служить месторождения Анкаван и Джермук, на базе которых функционируют одноименные курорты.

Весьма интересным представителем этого редкого типа углекислых кремнистых терм являются Верхне-Кармадонские источники северного склона Центрального Кавказа, разгружающиеся у подножия ледника Майч. Воды хлоридные натриевые с минерализацией до 8,6 г/л, температурой 60°C и содержанием кремнекислоты до 95 мг/л. В них отмечено повышенное содержание мышьяка и бора. Высокая концентрация кремнекислоты (более 50 мг/л) характерна для термальных вод Пятигорска и Железноводска (КМВ), углекислых вод Курило-Камчатской области.

Среди метановых терм повышенное содержание кремнекислоты встречается редко. К ним относится ряд месторождений минеральных вод разнообразного ионного состава с диапазоном минерализации от 4—5 до 18 г/л и более. Эти воды формируются преимущественно в осадочных или вулканогенно-осадочных породах (Нальчик на северном склоне Большого Кавказа, Серноводск, Тбилиское в Закавказье, Лесогорское на Сахалине). Характерным представителем таких вод является месторождение Нальчик, на котором функционирует одноименный курорт. Получены они с глубины 2285—2400 м из песчаников альба, имеют минерализацию 18,6 г/л, содержат до 100 мг/л кремнекислоты и повышенное количество бора и брома. Эффективно используются для лечения метановые термальные воды Тбилиского месторождения («Новые термы»), в которых содержание кремнекислоты несколько ниже бальнеологической нормы (40 мг/л). Дебит скважин, выводящих эти воды с глубины 1400 м, составляет 5—6 л/с.

Метановые гидрокарбонатные натриевые термы с небольшой, обычно менее 1 г/л, минерализацией, относящиеся к малоизвестному типу лечебных минеральных вод — Тункинскому [Ломоносов и др., 1977], распространены в межгорных впадинах Прибайкалья (см. рис. 4.10). В Тункинской впадине на базе этих вод с температурой 41°C, выведенных скважиной с глубины более 1000 м, функционирует водолечебница «Жемчук».

Детальная типизация азотных, углекислых и метановых кремнистых термальных вод СССР приведена Е. В. Посоховым и Н. И. Толстихиным [1977]. Большое внимание распространению и типизации современных гидротерм уделено в работах В. В. Иванова [1961], В. Г. Ткачук [1959], Н. И. Толстихина [1935] и др.

**Кремнистые термальные воды** очень распространены в различных странах мира. Их проявления известны в складчатых областях всех частей света. Так, на территории Западной Европы азотные термы выявлены в альпийском поясе — Пиренеях, Альпах, Аппенинах, Балканском полуострове, Карпатах, Крыму.

Очень богата термами Болгария. Здесь на сравнительно небольшой территории (110 тыс. км<sup>2</sup>) обнаружено около 500 минеральных, преимущественно азотных термальных источников. Достаточно сказать, что из 106 хорошо изученных источников только 17 являются холодными [Борисов, 1967]. Сульфатно-гидрокарбонатные натриевые слабоминерализованные термы используются на всемирно известных курортах Горна Баня, Банкя, Выршец, Кюстендил, Хисар, Павел Баня, Велинград и др. не только в лечебных целях, но и в плавательных бассейнах [Щерев, 1964].

Термальные воды являются основными бальнеологическими ресурсами Венгрии. Здесь слабоминерализованные азотные термы представлены

в основном гидрокарбонатными магниевыми-кальциевыми водами, содержащими фтор, метаборную кислоту, радон и другие ценные элементы. Крупный очаг разгрузки этих вод находится в районе Будапешта, где функционирует много городских водолечебниц (Лукачфюрде, Сеченифюрде и др.). Западнее оз. Балатон расположен курорт Хевиз, использующий воды одноименного озера, питающегося термальными родниками, на юге страны большой популярностью пользуются термальные воды курорта Харкань.

Метановые гидрокарбонатно-хлоридные натриевые термы, содержащие в повышенных количествах бром, йод, а также битумные вещества, близкие по лечебному действию к водам курорта Нальчик, используются на курорте Хайдусобосло, а углекислые термы боржомского типа — на курорте Шиконда.

Большое число курортов, основанных на термальных водах, имеется в Румынии, Югославии. Наиболее популярны из них старейшие курорты Европы — Геркуланы, Виктория (Румыния), в Югославии Враньска-Баня, использующий слабоминерализованные щелочные кремнистые воды многочисленных источников с температурой от 50 до 92°C. Вторым курортом, известным со II в. до н. э. — Вараждинске-Топлице, — находится южнее г. Вараждин (Хорватия). Его термальные воды аналогичны термам курортов Кульдур и Джалал-Абад. Кроме указанных курортов слабоминерализованные термальные воды применяются на курортах Баня-Ковиляча, Брестовацка-Баня, Добрина, Даруварска-Баня и многих других.

Богата проявлениями термальных вод различного газового состава (углекислые, азотно-углекислые, азотные, азотно-метановые) Италия. Один из крупнейших курортов страны Монтекатини использует в лечебных целях сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые воды с температурой до 26°C и минерализацией от 4 до 21 г/л. Другой популярный курорт Италии Бормино базируется на слабоминерализованных (1,2 г/л) сульфатных щелочноземельных водах с температурой 38—40°C.

Особенно много выходов термальных источников в Пиренеях. А. М. Овчинников [1963] отмечает, что термы французских Пиренеев составляют главную часть всех Пиренейских терм и образуют две группы: восточную — у основания массива Канигу и центральную — в Верхних Пиренеях, между курортами Баньер-де-Люшон и О-Бонн. «Жорж и Пьер Урбан, — пишет А. М. Овчинников (с. 159), — отмечают удивительное сходство всех горячих источников центральной осевой зоны, которые они относят к сернисто-пиренейскому типу. Всего насчитывается более 400 источников, образующих 40 групп». Максимальная температура кремнистых сульфатных терм достигает 80 (источник Тюсс) — 82°C (источник Шосет). В северопиренейской зоне 16 групп источников имеют температуру более 25°C (Сен-Поль-де-Фенуйс, Жиноль, Усса, Баньер-де-Биггор). Исключительно богата термами Испания [Lopez de Ascona, 1969]. Многие источники, имеющие температуру до 75°C, используются здесь в бальнеологических целях.

В отличие от Болгарии, Венгрии, Румынии, Югославии, Италии, Франции и Испании такие страны Европы, как ГДР, Польша, ФРГ, Чехословакия, бедны проявлениями азотных терм.

В ГДР область развития этих терм находится на крайнем юге страны, в Рудных горах [Zieschang, 1969]. Здесь на базе слаботермальных (29°C) вод действует бальнеологический курорт Вармбад. В Польше на территории Судет функционируют небольшой курорт Лондек, использующий кремнистые азотные термы (20—29°C) с концентрацией солей 0,18—0,2 г/л, и Цеплице. В ФРГ проявления азотных терм известны в Рейнских Сланцевых горах и в массиве Шварцвальд [Frike, Michel, 1969]. Воды наиболее крупных месторождений — Баден-Баден, Висбаден, Ахен — имеют температуру более 60°C, минерализацию 3,0—8,5 г/л, состав хлоридный натриевый.

В Чехословакии единичные проявления азотных терм находятся на севере Чешского массива и в Западных Карпатах. По составу это чаще всего гидрокарбонатные натриевые или кальциево-натриевые воды с сероводородом и радоном. На месторождениях этих вод создано несколько курортов. В Западной Словакии в долине р. Ваг располагается всемирно известный бальнеологический курорт Пьештяни, который использует термальные воды с температурой до 76°C. По составу и терапевтическому назначению воды курорта сходны с водами курортов Цхалтубо. Недалеко от Праги находится курорт Янские Лазне, базирующийся на слабоминерализованных и слабо радиоактивных источниках гидрокарбонатных кальциевых вод. В этом же районе в долине р. Иновец (Иновецкие горы) на крупном месторождении термальных сероводородных вод действует наиболее популярный в Чехословакии курорт Тренчанске Теплице. Очень важным лечебным фактором на этом курорте является серная грязь.

Азотные термальные воды широко распространены во всех странах зарубежной Азии. Концентрация солей в этих водах, так же как и в других странах мира, чаще всего не превышает 1 г/л, редко поднимается до 3 г/л, температура находится в пределах 20—100°C. По составу это натриевые и кальциево-натриевые воды разнообразного анионного состава с содержанием кремнекислоты до 170 мг/л.

Достаточно хорошо изучены термальные воды Монголии, отмечающиеся во многих местах. Состав гидрокарбонатный и сульфатный натриевый, минерализация изменяется от 0,15 до 1 г/л, а температура от 20 до 91,5°C. Типичным представителем термальных вод Монголии является месторождение Хужиртэ, где выстроен крупный курорт [Геохимия..., 1976].

На территории Китая зарегистрировано более 2500 термопроявлений, находящихся главным образом в горно-складчатых областях или связанных с глубокими горизонтами артезианских бассейнов. Изучены они в большинстве своем чрезвычайно слабо. Известно, что на термальных водах в стране функционирует 80 санаториев [An Kesh, 1980].

Для санаторно-курортного лечения часто используются кремнистые термальные воды в Японии. В 1956 г. в стране было зарегистрировано 1133 курорта. В 1974 г. использовалось около 5118 горячих источников и 8085 скважин с термальной водой, общий дебит которой соответственно составлял 928 725 и 110 203 м<sup>3</sup>/сут. Около 600 курортов используют воду с температурой выше 40°C и примерно столько же с температурой более 80°C. Наиболее известные курорты Японии — Кусару, Бэппу, Кирисима, Уисаса, Паруго.

В Африке азотные термы широко распространены на севере континента в горах Атласа, в зонах новейшей активизации Восточной и Южной Африки, на Мадагаскаре. Однако изучены эти термы весьма слабо и сведения об использовании их в лечебных целях ограничены.

В Алжирском Атласе азотные термальные воды составляют гидроминеральную базу многочисленных народных курортов — «хаммам» [Пантелеев, Голубев, 1978]. Гидрокарбонатные кальциевые слабоминерализованные термы (34°C) используются в лечебных целях в местечке Хамма-Плесань, в 12 км к северу от Константины, в горах Ореса располагается проявление термальных вод Шод-Фонтан, на источниках которого еще древними римлянами были построены бассейны и ванны. Р. И. Ткаченко и др. [Гидрогеология Африки, 1978] азотные термы Атласской области, имеющие температуру от 24 до 96°C и минерализацию до 36 г/л, разделяют на четыре группы: 1) слабоминерализованные (до 5 г/л) преимущественно гидрокарбонатного и сульфатно-гидрокарбонатного состава (источники Рига, Гергур, Айн-Зоф, Мескутин и др.); 2) хлоридные натриевые с минерализацией до 31 г/л (источники Мулай-Якуб, Эс-Салахин); 3) гидрокарбонатно-хлоридные и сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные натриевые и кальциево-натриевые (источники Сиди-Харазем, Заид и др.); 4) хлоридно-гидрокарбонатные натриевые (источники Берруагия в Алжире и Уштата в Тунисе).

В Восточно-Африканской области очень широко распространены гидрокарбонатные натриевые термы с минерализацией до 2 г/л. Они известны в Эфиопии, Кении, Бурунди, Танзании и Малави. В Замбии и Зимбабве в составе терм значительную роль играют хлор и сульфаты. Воды аналогичного состава, но с минерализацией более 2 г/л распространены менее широко (оз. Виктория и др.). Наибольшая минерализация (183 г/л) отмечена в источнике Увиза в Танзании.

Богата термальными водами и Южная Африка. Здесь минеральные воды с температурой до 80°C разнообразного химического состава с минерализацией до 3 г/л, связанные в основном с разломами в докембрийских кристаллических породах, распространены в Зимбабве, ЮАР, Мозамбике и Намибии. Особенностью этих вод является повышенное содержание фтора (источники Дрифонтейн в Трансваале, Лобамба в Свазиленде, Гросс Бармен в Намибии и др.). Сульфатные натриевые термы с минерализацией до 3,6 г/л и содержанием кремнекислоты от 50 до 115 мг/л практически повсеместно распространены на о. Мадагаскар. Термальные воды Африки представляют большое потенциальное богатство как база курортного строительства.

Широко распространены кремнистые термы в Северной и Южной Америке. К сожалению, данные об их использовании в лечебных целях весьма отрывочны. В США, по данным Д. А. Уоринга [Waring, 1965], насчитывается почти 1200 термальных площадей, из которых более 1000 расположены в горных районах западных штатов, а также на Аляске и Гавайских островах. Уоринг описал несколько десятков термопроявлений, использующихся на курортах или бальнеолечебницах. Известны термальные воды и в Австралии.

Наиболее полная характеристика термальных вод Америки, Африки, Австралии и других стран мира приведена в трудах XXIII сессии Международного геологического конгресса, состоявшегося в 1968 г. в Чехословакии [Genesis..., 1968; Mineral..., 1969a; Mineral..., 1969б]. Следует упомянуть также сводную работу по термальным и минеральным водам Канады [Everdingen, 1972].

#### 4.3.5. Воды железистые, мышьяковистые и «полиметалльные» с повышенным содержанием металлов

Железо поступает в подземные воды в основном из водовмещающих пород. Наиболее распространенными по газовому составу являются железистые азотные и углекислые воды.

Среди азотных железистых вод выделяются: 1) воды зон окисления сульфидных месторождений и рудопроявлений, формирующиеся вследствие интенсивного выщелачивания железа кислыми рудничными водами и 2) воды рыхлых четвертичных отложений и коры выветривания подстилающих пород.

В первом случае воды характеризуются сульфатным составом и большим набором катионов. Минерализация колеблется от 1—3 до 80 г/л, рН — 1,5—3,5. В лечебной практике эти воды используются очень ограниченно. Известными представителями данного типа являются месторождения и проявления кислых сульфатных полиметалльных вод Урала — Гайское, на базе которого функционирует курорт Дегтярское и др. Содержание тяжелых металлов в этих водах очень высокое (г/л): железа — до 13, меди — до 2,5, цинка — до 3,2, алюминия — до 2. Широкое освоение кислых вод лимитируется отсутствием научно разработанных методов по их применению в лечебной практике. В Италии аналогичные воды Ронченио и Левико успешно используются в курортных условиях и идут на розлив.

Для второй группы вод характерен сложный ионный состав. В анионной части их преобладают сульфаты и гидрокарбонаты, а катионный состав очень пестрый. Уровень минерализации соответствует пресным водам

(0,3—0,7 г/л), содержание железа не превышает 70 мг/л. Примером таких вод служат Марциальные (Карелия) и Полюстровские (Ленинград).

Марциальные воды расположены на Балтийском щите и приурочены к нижней части разреза четвертичных отложений и подстилающим их пиритизированным углистым сланцам протерозоя. Это холодные гидрокарбонатно-сульфатные железисто-магниево-кальциевые воды, в которых содержание закисного железа варьирует от 17 до 95 мг/л при минерализации вод 0,2—0,7 г/л. На базе этих вод действует курорт.

Железистые воды в Полюстрово связаны с межморенной песчано-гравийно-галечной толщей и выводятся скважинами с глубины 10—45 м. Содержание железа 33 мг/л. Эти воды используются заводом розлива в Ленинграде (Полюстровская вода).

Более широко развиты углекислые железистые воды. Железо является типоморфным компонентом в следующих гидрогеохимических типах углекислых вод:

1) гидрокарбонатные магниево-кальциевые и натриево-магниево-кальциевые с минерализацией 1—3 г/л (типа Дарасун, Турш-Су). Содержание железа в этих водах 20—60 мг/л, редко до 100 мг/л, температура 2—10°C. Данный тип вод широко представлен на Большом Кавказе (Тызыя, даутский Нарзан, махарский Нарзан), Малом Кавказе (Ахурик, Каджаран, Фиолетово, Аташ), в Закарпатье (Ужок, Белин), Тянь-Шане (Чагыр-Куль). К железистым относятся и основные месторождения углекислых вод Забайкалья (Дарасун, Кука, Шиванда), Приморья (Шмаковка);

2) сульфатно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные с различным набором катионов воды малой минерализации (2—7 г/л, реже до 11 г/л). Содержание железа 35—70 мг/л, в отдельных случаях 100—200 мг/л. Наиболее широко этот тип вод представлен на Малом Кавказе (Джермук, Славянка, Арегуни). Железистые воды данного типа используют для лечения в санатории «Кировакан»;

3) хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) натриевые (типа Эссентуки, Арзни) и кальциево-натриевые (типа Соймы) с минерализацией 3—10 г/л. Содержание железа в этих водах до 80—100 мг/л. Наиболее широко данный тип вод представлен на Кавказе. В пределах Большого Кавказа железистые углекислые воды связаны с палеозойскими породами северного склона (Ингушли, Хасаут, Тана дош), а на Малом Кавказе они приурочены к центральным зонам ряда артезианских бассейнов Армянской складчатой зоны (Арпинский, Кельбаджарский, Ереванский). Углекислые воды таких известных месторождений, как Анкаван, Саят-Нова, Арзни, Эхегис, содержат 26—40 мг/л железа.

Сравнительно редко встречается повышенная концентрация железа (20—40 мг/л) в гидрокарбонатных натриевых углекислых водах (типа Боржоми). Так, в воде одной из скважин на месторождении Уцера (Большой Кавказ) содержание железа составляет 34 мг/л, а в воде Хорольских источников Приморского края оно достигает 100 мг/л.

Наиболее высокоминерализованные (15—35 г/л и более) хлоридные натриевые воды, вскрываемые, как правило, в глубоких горизонтах, иногда имеют повышенное (до 60 мг/л) содержание железа (Мхчян на Малом Кавказе, Вышково в Закарпатье и Кара-Шура в Тянь-Шане).

Мышьяксодержащие подземные воды, в которых количество мышьяка превышает 0,7 мг/л, — весьма ценные лечебные воды; на их базе в нашей стране функционируют санатории и курорты. Наиболее широко распространены две бальнеологические группы: 1) углекислые мышьяковистые, в которых мышьяк находится в форме мышьяковистой кислоты ( $H_3AsO_3$ ) и продуктов ее диссоциации ( $H_2AsO_3^-$ ,  $HAsO_3^{2-}$ ), и 2) мышьяковые, где он присутствует в форме мышьяковой кислоты ( $H_3AsO_4$ ) и ее ионов ( $H_2AsO_4^-$ ). Выявлено около 40 месторождений и проявлений этих вод, различающихся по концентрации мышьяка, ионному составу, минерали-

## Основные типы углекислых мышьяковистых минеральных вод [по А. П. Карасевой, 1973]

Типы вод по ионному составу; минерализация, г/л	Тип	As, мг/л	CO <sub>2</sub> , г/л	Сопутствующие микрокомпоненты	Характерные месторождения
Гидрокарбонатные натриево-кальциевые (кальциево-натриевые) и натриевые; 3,0—6,5	Чвижепсе, Ацетукский, Грушевая Поляна	1—40	1,7—2,5	HBO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , реже Fe	Авадхара
Сульфатно-гидрокарбонатные натриевые; 3,0—5,0	Дарыдагский, Джермукский	1,0	0,2—0,8	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , Li	Оксинские
Гидрокарбонатно-хлоридные (хлоридно-гидрокарбонатные) натриевые; 2,0—37,5	Синегорский, Нагаджирский, Горная Тисса, Двинский, Налачевский	1—10	0,6—2,3	H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , HBO <sub>2</sub> , реже Li, I, Br	Говерла, Накалакви, Вардзия, Теплинские, Исти-Су
Хлоридные натриевые; 8,0—36,0	Верхний Кармадон	1,0	1,8	HBO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> , Br, I	Двин

зации и температуре (табл. 4.12). Среди мышьяковистых вод выделяют несколько характерных бальнеологических типов: 1) углекислые; 2) железистые мышьяковые с высоким содержанием марганца, меди, цинка; 3) кремнистые термальные; 4) бромные, йодобромные.

Наиболее распространены углекислые мышьяковистые воды, имеющие большое значение в бальнеологической практике. Благоприятной средой для накопления мышьяка являются углекислые гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией от 4 до 20—25 г/л. Для них весьма характерна парагенетическая ассоциация мышьяка с бором. Содержание последнего (HBO<sub>2</sub>) в большинстве случаев более 100 мг/л. Наибольшее содержание HBO<sub>2</sub> (до 2000 мг/л) зафиксировано в гидрокарбонатно-хлоридных натриевых водах с минерализацией 25 г/л Синегорского месторождения (Сахалин), где концентрация мышьяка достигает 60 мг/л. Многие углекислые мышьяковистые воды обогащены кремниевой кислотой и железом (Горная Тисса, Говерла, Грушевая Поляна). А. П. Карасева [1973] отмечает, что очень крепкие мышьяковистые воды таких месторождений, как Дарыдаг (Малый Кавказ), Синегорск (Сахалин), Горная Тисса (Карпаты), формирующиеся в терригенных породах, содержат бром и йод в пределах бальнеологических норм. Это позволяет отнести их к йодобромным. В некоторых случаях в мышьяковистых водах содержится литий (Дарыдаг).

Углекислые мышьяковистые воды пансионата «Горная Тисса» представлены двумя разновидностями: очень крепкими мышьяковистыми (мышьяка 15—73 мг/л), железистыми (40—60 мг/л) хлоридными и гидрокарбонатно-хлоридными натриевыми водами с минерализацией 26—37 г/л и мышьяковистыми (до 5 мг/л) гидрокарбонатно-хлоридными натриевыми, реже кальциево-натриевыми водами с минерализацией от 2 до 15 г/л. Воды первой группы обладают высокой концентрацией бора (HBO<sub>2</sub> — 1460 мг/л), повышенным содержанием брома (60 мг/л) и йода (18 мг/л).

Синегорское месторождение углекислых мышьяковистых вод расположено близ г. Южно-Сахалинска. Здесь развиты углекислые воды с содержанием мышьяка от 20—25 до 64—68 мг/л. По составу они гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией до 25 г/л. Содержание бора (HBO<sub>2</sub>) 1700—2100 мг/л, брома — 18—20 мг/л, йода — 14—15 мг/л. Минеральные воды насыщены углекислотой (до 7—9 г/л). На

базе Синегорского месторождения функционирует крупный курорт, на котором в санатории «Сахалин» эти воды используются для лечебного питья и ванн.

Самое крупное в нашей стране месторождение углекислых термальных мышьяковистых вод, обладающее огромными ресурсами — Налачевское, расположенное на Камчатке, в 55 км севернее г. Петропавловска. Скважинами углекислые воды с температурой 58—77°C и содержанием мышьяка от 2 до 10,4 мг/л вскрыты в андезитах миоцен-плиоцена на глубинах до 115 м. Ионный состав вод хлоридный натриевый и кальциево-натриевый с минерализацией 4—4,5 г/л. Для Налачевских терм характерно повышенное содержание метаборной кислоты (до 320 мг/л) и кремниевой кислоты (150—180 мг/л).

За рубежом известны немногочисленные курорты, лечебной базой которых являются мышьяковистые и железистые воды. Так, в Западной Европе на курорте Парадфюнде (Венгрия) используются мышьяковистые воды, аналогичные Синегорским, а также воды с высоким содержанием железа.

В ГДР на курорте Либенштей применяются воды типа Боржоми, сульфатные кальциевые железистые воды, близкие к Марциальным, применяются на курорте Люсик. В Польше известен курорт Полчин, использующий железистые воды, близкие к Полюстровским. Следует отметить и хлоридные натриевые мышьяковистые воды курорта Дуркхейм.

#### 4.3.6. Слабоминерализованные воды с высоким содержанием органических веществ (типа Нафтуса)

Минеральные воды, лечебное действие которых обусловлено присутствием в их составе органического вещества, встречаются довольно редко. Они известны лишь в районах, в строении которых участвуют осадочные породы, обогащенные органикой. Для этих вод характерны гидрокарбонатный магниевый-кальциевый или магниевый-натриево-кальциевый состав и минерализация 0,4—0,8 г/л. Наиболее типичным представителем этой редкой группы являются слабоминерализованные воды источника Нафтуса № 1 Трускавецкого месторождения минеральных вод [Маринов, Пасека, 1975]. Это месторождение, на котором функционирует всемирно известный бальнеологический курорт Трускавец, расположено во внутренней зоне Предкарпатского краевого прогиба. На месторождении имеется восемь участков водозаборов: Нафтуса № 1, Нафтуса № 2, Юзя источника № 7, Барбара источника № 6, Липки и в долине р. Воротыще.

Ионный состав минеральных вод месторождения очень разнообразен — от гидрокарбонатных магниевых-кальциевых с минерализацией менее 1 г/л до хлоридных натриевых рассолов с минерализацией от 35 г/л и выше. Основным лечебным фактором курорта является минеральная вода источника Нафтуса № 1, обладающая многообразным уникальным воздействием на организм человека. Эта вода не имеет себе равных не только в Советском Союзе, но и во всем мире (за исключением Уругвая). Характерные особенности химического состава воды Нафтуса — низкая минерализация (0,7 г/л), резкое преобладание среди анионов гидрокарбонатов, а среди катионов — кальция и магния. В воде присутствуют в значительном количестве микрокомпоненты и органическое вещество. В последнем [Невраев и др., 1964] установлены (мг/л): гуминовые кислоты — 4,2, битумы — 25,5, фенолы — 2,17, жирные кислоты — 0,02, органические углерод и азот. В формировании макро- и микрокомпонентного состава минеральных вод типа Нафтуса ведущая роль принадлежит породам миоцена, участвующим в строении Трускавецкого месторождения. В подземные воды органическое вещество привносится из водовмещающих пород, которые на участке водозабора Нафтуса № 1 обогащены продуктами нефтяного ряда ( $C_{орг}$  30 мг/л). Минеральные воды источника Нафтуса № 1 применяются на курорте Трускавец.

Большое сходство с рассмотренными выше водами Нафтуса № 1 имеют пресные гидрокарбонатные магниевые-кальциевые воды Сходницкого месторождения, расположенного в 21 км к юго-востоку от курорта Трускавец. По сравнению с водами Нафтуса № 1 минеральные воды месторождения содержат больше органического вещества и железа. В Хмельницкой области известно Сатановское месторождение минеральных вод, сходных по физико-химическим свойствам с водами источника Нафтуса № 1. Слабоминерализованные подземные воды, содержащие органику и близкие по составу и терапевтическим свойствам к водам Нафтуса № 1, известны на Березовском месторождении минеральных вод (Украина), где функционирует курорт и завод розлива. На Урале минеральные воды с повышенным содержанием органического вещества с давних пор известны в с. Обухово, где они широко используются для лечения на одноименном курорте. Воды с повышенным содержанием органики и сходные по составу с водами Нафтуса № 1 выявлены и в других районах Советского Союза (Ундоровские источники близ г. Ульяновска, в Краснодарском крае, в Азербайджане, Восточной Сибири и т. д.).

В 1962 г. на территории Прибайкалья в долине р. Киренги (см. рис. 4.10) Б. И. Писарским [Писарский, Зобнина, 1969] впервые обследованы минеральные воды хлоридно-гидрокарбонатного магниевое-кальциево-натриевого состава с минерализацией 0,5 г/л и органическим веществом 32 мг/л. Наличие в воде низкомолекулярных летучих органических веществ нефтяного ряда (коэффициент летучести 2,94), т. е. именно тех компонентов, которыми объясняется бальнеологический эффект вод типа Нафтуса, позволило рекомендовать эти воды для практического использования строителями БАМа.

В чистом виде органическое вещество используется в лечебных целях на единственном в Советском Союзе месторождении — Нафталан. Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые термальные (35°C) воды с минерализацией 10 г/л при отстаивании дают лечебную нефть — нафталан, которая и применяется для ванн.

#### 4.4. СОСТОЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЛЕЧЕБНЫХ ВОД ЗДРАВНИЦАМИ И ЗАВОДАМИ РОЗЛИВА

Основными потребителями минеральных лечебных вод в СССР являются курорты, санатории (союзного, республиканского и ведомственного значения), бальнеолечебницы местных органов здравоохранения и ведомственные профилактории. Распределение здравниц по отдельным регионам и республикам СССР пока еще очень неравномерно, что объясняется как гидрогеологическими условиями отдельных территорий, так и характером их промышленного освоения. Наибольшее количество здравниц (286) находится на территории РСФСР (табл. 4.13). При этом на азиатскую часть республики приходится только 67 здравниц. Наиболее обеспечена минеральными водами Украина и Грузия, меньше всего Молдавия и Туркмения.

Для создания и расширения гидроминеральной базы проводятся специальные гидрогеологические разведочные работы на перспективных месторождениях минеральных вод, основной объем которых осуществляется организациями Министерства геологии СССР, Министерства здравоохранения СССР (гидрогеологическое управление «Геоминвод») и территориальными каптажными управлениями ВЦСПС («Укргеокаптажминвод» и др.). Конечным результатом разведочных работ, как правило, является оценка эксплуатационных запасов минеральных лечебных вод с утверждением их Государственной комиссией по запасам СССР.

Минеральные воды одновременно с использованием для лечения непосредственно курортами и бальнеолечебницами, с разрешения Мини-

Таблица 4.13

Использование минеральных вод в СССР на 01.01.1981 г. [по Иванову, 1982]

Республика	Число используемых месторождений минеральных вод			
	Всего	В том числе		
		курортами и санаториями	бальнеолечебницами и профилакториями	заводами розлива
РСФСР	286	169	97	57
В том числе:				
европейская часть	216	137	69	41
азиатская часть	70	32	35	16
Украина	61	29	15	24
Белоруссия	41	9	2	1
Эстония	4	1	1	2
Латвия	7	5	1	2
Литва	5	5	—	3
Молдавия	2	—	1	1
Грузия	46	18	21	17
Армения	9	5	—	8
Азербайджан	41	3	4	6
Казахстан	16	9	6	5
Киргизия	19	8	8	4
Узбекистан	12	5	11	3
Туркмения	2	1	1	1
Таджикистан	41	6	3	6
Итого . . . . .	502	273	171	139

стерства здравоохранения СССР и его местных органов, идут на розлив и широко применяются как лечебные и лечебно-столовые.

Государственным стандартом СССР 13273 — 73 к минеральным питьевым лечебным водам относятся воды с общей минерализацией от 8 до 12 г/л. В отдельных случаях в лечебных целях применяют воды с более высокой минерализацией (Баталинская — 21 г/л, Лугела — 52 г/л), а при наличии микроэлементов (бор, мышьяк и др.) — с минерализацией менее 8 г/л. К минеральным питьевым лечебно-столовым водам, согласно тому же стандарту, относят воды с общей минерализацией от 2 до 8 г/л. П. Л. Яновский [1968] считает, что в качестве лечебных столовых хлоридные натриевые воды не должны иметь минерализацию выше 4—4,5 г/л, более высокая минерализация допускается для гидрокарбонатных вод и вод смешанного состава.

В 1981 г. минеральные воды разливались в СССР 139 заводами или цехами розлива (см. табл. 4.13). Интересно, что до революции в России розлив минеральных вод производился только из четырех источников: Боржоми, Нарзан, Ессентуки, Ижевские минеральные воды. Четыре завода выпускали в год около 18 миллионов бутылок.

Промышленный розлив минеральных вод в СССР по состоянию на 1 января 1980 г. составлял 2,4 млрд. бутылок в год. Перспективным планом развития намечается увеличить розлив к 1985 г. до 5,2 млрд. бутылок. Это позволит довести среднее потребление минеральных вод на душу населения по стране с 4,5 л (1980 г.) до 7,5 л (1985 г.).

На Северном Кавказе, по данным А. П. Бухтоярова [1977], производится розлив 21 типа различных по газовому и минеральному составу вод (табл. 4.14), имеющих большой спрос не только в нашей стране, но и за рубежом. Кисловодский Нарзан, Ессентуки № 17 и 20 экспортируются в ряд социалистических и капиталистических стран. Сравнительно слабо осваиваются ресурсы минеральных вод в Центральном, Северо-Западном, Поволжском, Западно- и Восточно-Сибирском, Дальневосточном экономических районах.

Таблица 4.14

Число месторождений минеральных вод различных типов, эксплуатируемых курортами и санаториями СССР на 1/1. 81 [по В. В. Иванову, 1982]

Республика	Всего	В том числе воды							
		без специфических компонентов и свойств	углекислые	сероводородные	мышьяковистые, железистые и иодные	бромные, йодобромные и иодные	радоновые	кремнистые термы	с высоким содержанием С орг.
РСФСР	169	99	17	23	4	9	8	7	2
В том числе:									
европейская часть	137	90	8	22	2	8	4	1	2
азиатская часть	32	9	9	1	2	1	4	6	—
Украина	29	11	6	7	1	—	1	—	3
Белоруссия	9	9	—	—	—	—	—	—	—
Эстония	1	1	—	—	—	—	—	—	—
Латвия	5	4	—	1	—	—	—	—	—
Литва	5	5	—	—	—	—	—	—	—
Молдавия	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Грузия	18	2	8	5	—	—	1	2	—
Армения	5	—	5	—	—	—	—	—	—
Азербайджан	3	—	1	—	—	1	—	—	1
Казахстан	9	6	—	—	—	—	2	1	—
Киргизия	8	5	—	—	—	—	1	2	—
Узбекистан	5	4	—	1	—	—	—	—	—
Туркмения	1	—	—	1	—	—	—	—	—
Таджикистан	6	3	—	—	—	—	—	3	—
Итого . . . . .	273	149	37	38	5	10	13	15	6

По данным ЦНИИКиФ по состоянию на 1975 г. на территории Сибири, Дальнего Востока, Казахстана и республик Средней Азии разливаются всего 19 наименований лечебно-столовой и 2 лечебной (Талицкая в Свердловской области и Шаамбары-2 в Таджикистане) воды с общей производительностью около 50 млн. бутылок в год, что составляет около 3,5% всего объема розлива минеральных вод в СССР. В то же время на территории Сибири и Дальнего Востока имеются все необходимые предпосылки для расширения розлива как на действующих заводах (минеральные воды Омская, Аршан, Сахалинская и др.), так и перспективных месторождений Кожановском, Терсинском, Мухенском, Шмаковском, Мотыклейском, Колпашевском и многих других.

По данным С. М. Беленького и др. [1982], из общего объема разливаемых природных вод (в том числе и столовых) на долю лечебно-столовых приходится 69% и лечебных — 28%. Наибольшим спросом пользуются природные минеральные углекислые воды (объем их розлива превышает 50%) таких широко известных типов, как Боржоми, Ессентуки, кисловодский Нарзан, Славяновская, Смирновская, Джермук и др.

За рубежом наиболее широко используются минеральные лечебные воды в Центральной Европе, менее — в Америке, еще меньше в Азии, Африке и Австралии.

В европейских странах расход минеральных вод на одного человека в 1969 г. составлял: во Франции — 33,2 л, Швейцарии — 19,4, Италии — 14, ФРГ — 10,9, Голландии — 5, Португалии — 4, Австрии — 4, Испании — 2,4 л [Pricajan, 1972].

Для некоторых стран Европы экспорт минеральной воды служит важной статьёй дохода. Это в первую очередь относится к Франции, которая еще в 1966 г. вывозила в страны Европы, Африку, Южную и Северную Америку около 124 млн. бутылок углекислой воды (Виши-Челестен, Котрексвилль, Бадуа и др.). Италия в 1965 г. экспортировала в разные страны мира более 2 млн. бутылок, а в 1966 г. — почти 3 млн. В настоящее время вывоз минеральной воды из стран резко увеличился. Одновременно

менно с экспортом многие страны ввозят минеральные воды. Так, в Италию импортируется из других стран 2 млн. бутылок. В ФРГ экспорт в 1965 г. составлял 8,4 млн. бутылок, а импорт — 3,4 млн. бутылок. ГДР ежегодно экспортирует примерно 150 тыс. бутылок, а ввозит около 1 млн. бутылок углекислой воды. В Австрию ввозится из Болгарии около 500 тыс. бутылок минеральной воды и т. д.

Примером успешного применения минеральных вод для лечения может служить Румыния, где расход ее на одного человека в 1975 г. составлял 13 л, а в 1980 г. достиг 16 л, при этом общий объем добычи минеральной воды в 1980 г. был равен 370 млн. л против 290 млн. л в 1975 г. В стране эксплуатируется около 4000 скважин с минеральной водой. Аналогично положение в Польше. Здесь пригодные для лечебных целей воды составляют примерно 2% от общего объема водных ресурсов страны [Jagielska, Lodzinski, 1978]. Около 30% разведанных запасов лечебных вод используется в бальнеологии.

В СССР наибольшее число минеральных вод, эксплуатируемых курортами и санаториями, приходится на соленые воды и рассолы. В меньших размерах используются наиболее ценные углекислые и сероводородные и относительно мало остальные типы минеральных лечебных вод (табл. 4.14).

Исключительно велик лечебный эффект от воздействия углекислых минеральных вод. Физиологическими исследованиями установлено, что углекислая вода с гидрокарбонатами кальция или натрия резко повышает сокогонный эффект желудочно-кишечного тракта и влияет на водно-солевой обмен организма в целом. Эти свойства углекислых вод используются при заболеваниях с повышенной и пониженной кислотностью. Углекислая вода с повышенной минерализацией (2—3 г/л и более) благоприятно воздействует при заболеваниях желчевыводящих путей, желчного пузыря и печени.

Сочетание питьевых процедур с углекислыми ваннами рекомендуется при лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы — пороков сердца, гипертонии, кардиосклероза и др.

По данным ЦНИИКиФ на 1 января 1981 г. эксплуатационные запасы углекислых вод в СССР составляли 64 400 м<sup>3</sup>/сут. Кроме того, по значительной части объектов имеются разведанные запасы минеральных вод, которые следует рассматривать в качестве резерва для расширения действующих лечебных учреждений. Около 200 проявлений углекислых минеральных вод разведано и передано в эксплуатацию без утверждения запасов. В их числе такие крупные, как Малкинское, Домбайское, Дарыдаг (Кавказская область), Пасика, Розовка (Карпатская область) и др., ресурсы которых оцениваются в сотни и тысячи кубометров минеральной воды в сутки.

Из углекислых вод 50% разведанных запасов составляют хлоридно-гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые и кальциево-натриевые типа Эссентуки, Арзни, Соймы, наиболее ценные в лечебном отношении, широко применяемые как в курортном лечении, так и для розлива. Вторая большая группа вод — слабоминерализованные гидрокарбонатные магниевые-кальциевые типа Дарасун. Они широко используются в тех регионах, где являются преобладающими, например в Забайкалье и Приморье (Дарасун, Шиванда, Ямаровка, Шмаковка). Около 5% всех эксплуатационных запасов приходится на сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые типа кисловодского Нарзана. Сравнительно ограничены (около 15%) запасы минеральных вод типа Боржоми, причем большая часть их сосредоточена на Кавказе и в Карпатах.

В целом же следует отметить, что, несмотря на широкое развитие, углекислые воды для бальнеологических целей используются еще мало. Наиболее интенсивно они эксплуатируются на Кавказе и в Карпатах, где функционируют крупнейшие в нашей стране санаторно-курортные комплексы. Недостаточно они используются на Юго-Востоке и Востоке СССР, что связано с расположением отдельных месторождений в трудно-

доступных районах. В последние годы выявлены новые месторождения углекислых вод на Сахалине, в Приморье, на Камчатке, юге Красноярского края, в Киргизии, Таджикистане и в других районах, которые рассматриваются как перспективные для освоения и практического использования.

Большой бальнеологический интерес представляют соленые воды и рассолы. Лечебный эффект сульфатных соленых вод обусловлен наличием в них от 1,5—2,0 до 5—6 г/л сульфатных кальциевых или натриевых солей. Они используются в виде питьевой минеральной воды для лечения заболеваний желудочно-кишечного тракта. Сульфатные воды в СССР используют на курортах, в санаториях, бальнеолечебницах и профилакториях общим числом свыше 30 учреждений [Титова, Фомичева, 1980], а также разливают в бутылки на 10 заводах. Особенно широко в практике лечения используются хлоридные соленые воды и рассолы, обогащенные сероводородом, бромом и иодом.

Пороговая концентрация, при которой начинает проявляться терапевтическое действие хлоридных натриевых ванн, — 10 г/л; при 20—40 г/л оно выражено совершенно отчетливо. С повышением концентрации до 60—90 г/л оно ухудшается, хотя в принципе могут использоваться рассолы с минерализацией до 150 г/л.

На многих курортах хлоридные натриевые воды широко применяются наружно в комплексе с другими факторами лечения при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, в частности суставов и позвоночника дегенеративно-фиброфического и обменно-эндокринного характера, при инфекционных неспецифических и ревматических полиартритах, при позвоночном остеохондрозе, деформирующем спондилезе и спондилеартрите (болезнь Бехтерева), переломах конечностей в восстановительном периоде, при заболеваниях периферической нервной и сердечно-сосудистой систем и при гинекологических заболеваниях. Хлоридные натриевые ванны стимулируют функции различных органов и систем благодаря их благотворному действию на адаптационно-приспособительные механизмы. Это отмечено как в клинических, так и в экспериментальных работах.

Присутствующий в хлоридных водах сероводород даже в малых концентрациях способен вызвать выраженные сдвиги различных функций организма. Проникая через кожу в организм, он раздражает нервные окончания в коже, что приводит к расширению мелких сосудов — «мацестинской» реакции покраснения.

Все это позволяет считать сероводородные рассолы весьма ценным лечебным фактором. Они могут быть использованы для лечения комбинированных форм заболеваний сердечно-сосудистой системы, суставов, периферической и центральной нервной системы, гинекологических и кожных заболеваний.

Соленые хлоридные натриевые воды могут быть использованы как питье для лечения органов пищеварения, поскольку они обладают мощным сокогонным действием, способствующим повышению кислотности желудочного сока (хронические гастриты, колиты и т. д.).

Изученность ресурсов сероводородных соленых вод и рассолов в разных районах неодинакова, а их распределение по территории СССР крайне неравномерно. Г. Н. Плотникова [1977, 1981] отмечает, что достоверные сведения о ресурсах этих вод имеются по 70 месторождениям и только по 30 из них ГКЗ СССР утверждены эксплуатационные запасы (31 000 м<sup>3</sup>/сут). Наиболее крупные месторождения описываемых вод сосредоточены в глубоких горизонтах артезианских бассейнов (Волго-Уральская область, север и северо-запад Русской и юг Сибирской платформ, Предкарпатский и Предкавказский краевые прогибы и др.).

Установлена высокая эффективность иодобромных вод при лечении заболеваний сердечно-сосудистой системы и гипертонической болезни. Ионы йода и брома обладают свойством избирательно действовать на определенные органы и концентрироваться в них. Иод, накапливаясь в щитовидной железе, гипофизе и других органах и тканях, которые подверга-

лись хроническому воспалительному процессу, способствует рассасыванию очагов поражения. Он обеспечивает нормальную деятельность щитовидной железы, поэтому занимает значительное место в профилактике эндемического зоба. Йод положительно влияет на обмен веществ, участвуя в окислительно-восстановительных процессах.

Ионы брома играют большую роль при лечении расстройств нервной системы, усиливая процессы торможения в коре головного мозга и восстанавливая нарушенное равновесие. Установлено, что йод и бром во время приема общих ванн не только влияют на нервные окончания кожи, но и проникают через неповрежденный покров в организм.

Иодобромные воды, как и обогащенные сероводородом соленые воды и рассолы, распространены главным образом в глубоких горизонтах артезианских бассейнов (восток Русской платформы, Западно-Сибирский артезианский бассейн), а бромные — на юге Сибирской платформы.

Эксплуатационные запасы бромных и иодобромных вод СССР, по данным А. Б. Авдеевой и Т. Н. Плотниковой [1980], составляют 10867 м<sup>3</sup>/сут.

Лечебное значение другой группы минеральных вод — кремнистых терм — кроме температурного фактора определяется высоким содержанием кремнекислоты и повышенной щелочностью. Щелочная среда способствует набуханию коллоидов кожи и смыливанию кожного сала, что благоприятно сказывается на эластичности кожного покрова. Этим объясняется их лечебное действие при кожных заболеваниях. Высоким содержанием кремнекислоты объясняется лечебное действие терм при травматических повреждениях, некоторых заболеваниях желудочно-кишечного тракта и т. д. Показаниями для лечения больных кремнистыми термальными водами, утвержденные эксплуатационные запасы которых достигают 50 000 м<sup>3</sup>/сут, являются также болезни суставов, костей и мышц, нервной системы, гинекологические заболевания и хронические интоксикации.

Радоновые минеральные воды используются пока еще ограниченно. В бальнеологической практике холодные радоновые воды применяются в виде ванн, орошений и ингаляций. Они оказывают рассасывающее десенсибилизирующее (понижающее чувствительность) действие, а также повышают защитные иммунологические свойства организма. Показания для лечения радоновыми водами — заболевания органов опоры и движения, желудочно-кишечного тракта, гинекологические и сердечно-сосудистые. Они также благоприятно влияют на деятельность щитовидной железы. Эксплуатационные запасы этих вод утверждены лишь по 13 месторождениям и составляют 6700 м<sup>3</sup>/сут, однако воды даже некоторых из них до сих пор не получили практического применения (Былыра, Мерке).

В СССР основное внимание при разработке перспективных планов развития гидроминеральной базы на 1981—1990 гг. будет уделяться комплексному и рациональному освоению выявленных ресурсов, охране их от загрязнения и истощения, что особенно важно при строительстве курортов-гигантов (Сочи, Кавказские минеральные воды, Анапа и др.). Здесь уместно вспомнить, что еще греческие жрецы, знавшие целебную силу минеральной воды, возводили храмы Эскулапу и оберегали их от загрязнения, как особо почитаемые.

## ЛИТЕРАТУРА

Авдеева А. Б., Плотникова Г. Н. Бромные, йодные и йодо-бромные воды.— В кн.: Вопросы изучения лечебных минеральных вод, грязей и климата. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1980, с. 63—88.

Арутюнянц Р. Р., Иванов В. В., Пастушенко Ю. Н. Сульфидные и йодо-бромные воды курорта Большие Сочи.— В кн.: Вопросы гидрогеологии минеральных вод. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1977, с. 96—123.

Барабанов Л. Н., Дислер В. Н. Азотные термы СССР. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1968. 323 с.

Беленький С. М., Лаврешкина Г. П., Дульнева Т. Н. Минеральные воды. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. 130 с.

- Борисов А. Д. Важнейшие курорты социалистических стран Европы. М.: Медицина, 1967. 232 с.
- Бухтояров А. П. К вопросу о розливе минеральных вод на Северном Кавказе. В кн.: Курортные ресурсы Российской Федерации. Пятигорск: изд. ЦНИИКиФ, 1977, с. 65—68.
- Вартанян Г. С. Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов. М.: Недра, 1977. 285 с.
- Геохимия подземных минеральных вод Монгольской Народной Республики/Под ред. Е. В. Пиннекера. Новосибирск: Наука, 1976. 76 с.
- Елманова Н. М., Арбузов В. А. Природные ресурсы лечебных радоновых вод и их современное использование. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1975, с. 105—115.
- Иванов В. В. Основные закономерности распространения и формирования термальных вод Дальнего Востока СССР.— В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1960, с. 171—262.
- Иванов В. В. Основные генетические типы термальных вод и их распространение в СССР.— В кн.: Проблемы геотермии и практического использования тепла Земли. Т. II. М.: Изд-во АН СССР, 1961, с. 21—32.
- Иванов В. В. Основные критерии оценки химического состава минеральных вод. М., 1982. 92 с.
- Иванов В. В., Овчинников А. М., Яроцкий Л. А. Основные закономерности распространения минеральных вод на территории СССР.— В кн.: Вопросы формирования и распространения минеральных вод СССР. М.: Недра, 1960, с. 5—11.
- Иванов В. В., Невраев Г. А. Классификация подземных минеральных вод. М.: Недра, 1964. 167 с.
- Карасева А. П. Вопросы формирования и основные типы мышьяксодержащих минеральных вод.— В кн.: Мышьяксодержащие минеральные воды СССР. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1973, с. 62—74.
- Карасева А. П. Геоструктурные типы месторождений углекислых вод.— В кн.: Вопросы гидрогеологии минеральных вод. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1977, с. 161—180.
- Ковальский В. В. Микроэлементы.— В кн.: БМЭ. Т. 18. М.: Советская энциклопедия, 1960, с. 511—515.
- Ломоносов И. С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. Новосибирск: Наука, 1974. 165 с.
- Ломоносов И. С., Кустов Ю. И., Пиннекер Е. В. Минеральные воды Прибайкалья. Иркутск, 1977. 223 с.
- Ломоносов И. С., Пиннекер Е. В. Опыт систематизации минеральных вод на примере Сибирской платформы.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1969, № 12, с. 112—118.
- Маринов Н. А., Пасека И. П. Трускавецкие минеральные воды. М.: Недра, 1975. 320 с.
- Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. 1/Под ред. В. Г. Ткачук, Н. И. Толстихина. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 346 с.
- Минеральные воды СССР. Пояснительная записка к карте минеральных вод СССР м-ба 1 : 4 000 000/Под ред. В. В. Иванова. М.: изд. Минздрав СССР, 1974. 324 с.
- Невраев Г. А., Вадковская А. Д., Бахман В. И. Органические вещества в слабо-минерализованных источниках курорта Трускавец и села Малые Сходницы.— В кн.: Материалы по изучению лечебных минеральных вод и грязей в бальнеотехнике. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1964, с. 64—68.
- Овчинников А. М. Минеральные воды. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 358 с.
- Основы курортологии, т. 1. М.: Медгиз, 1956. 752 с.
- Пантелеев И. Я., Голубев С. М. Подземные воды Алжира. М.: Недра, 1978. 211 с.
- Пиннекер Е. В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. М.: Наука, 1966. 332 с.
- Пиннекер Е. В. Минеральные воды Тувы. Кызыл, 1968. 105 с.
- Писарский Б. И., Зобнина Л. П. Гидрогеохимические критерии нефтегазоносности Мунокского участка в бассейне р. Киренги.— В кн.: Труды Межвузовской конференции по гидрогеохимическим и палеогидрогеохимическим методам исследований в целях поисков месторождений полезных ископаемых. Томск, 1969, с. 134—136.
- Плотникова Г. Н. Сероводородные воды СССР. М.: Недра, 1981. 132 с.
- Посохов Е. В., Толстихин Н. И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). Л.: Недра, 1977. 240 с.
- Стопневич А. Д. Богатства России. Минеральные воды. М., 1920. 36 с.
- Титова Е. А., Фомичева В. Н. Воды, действующие физическими свойствами и ионным составом.— В кн.: Вопросы изучения лечебных минеральных вод, грязей и климата. М.: изд. ЦНИИКиФ, 1980, с. 41—63.
- Ткачук В. Г. Формирование термальных вод Саяно-Байкальской горной страны.— В кн.: Труды II совещания по подземным водам и инженерной геологии Восточной Сибири. Иркутск, 1959, с. 44—60.
- Толстихин Н. И. Аршан Бурят-Монгольской АССР.— В кн.: Проблемы Бурят-Монгольской АССР. Т. I. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1935, с. 254—276.
- Щерев К. Минеральные воды в Болгарии. София: Наука и искусство, 1964. 172 с.
- Яновский П. Л. Минеральные воды СССР (разливаемые в бутылки). М.: Пищевая промышленность, 1968. 160 с.
- An Kesh. Thermal springs in China. Geojournal, 1980, v. 4, N 6, p. 507—513.
- Boineau R., Maisonneuve J. Les sources minérales du massif central français et leur

cadre géologique. Géol. géomorphol. et struct. profonde massif centr. franç. Simp. Jean. Jung, 1971. Clermont-Ferrand, 1973, p. 581—607.

Everdigen R. O. Thermal and Mineral Springs in the Southern Rocky Mountains of Canada. Ottawa, Canada, 1972. 151 p.

Fricke K., Michel G. Mineral — und Thermalwasser der Bundesrepublik Deutschland. Intern. Geol. Congr. Report of the Twenty-Third Session Czechoslovakia, 1968, Academia Prague, 1969, S. 31—57.

Genesis of Mineral and Thermal Waters. Proceedings of Symposium II. International Geological Congress. Report of the Twenty-Third Session. Czechoslovakia, 1968, Academia Prague, 1969. 304 p.

Jagielska B., Lodzinski. Bilans wod lezniczych Polski. Prz. geol., 1978, v. 26, c. 255—257.

Jetel J., Pačes T. Sur l'origine de la minéralisation des eaux thermominérales de Karlovy Vary. Recueil des confer. du II symp. intern. balnéotechnique, Piestany, 1969, p. 440—445.

Lòpes de Arcona J. M. Agnas minerales y termales de Espana. Mineral and Thermal Waters of the World. A — Europe. Proceedings of symposium II. International Geological Congress. Report of the XXIII. Session Czechoslovakia, 1968. Academia, Prague, 1969, p. 113—126.

McLeod I. R. A Summary of Mineral and Thermal Waters in Australia. Mineral and Thermal Waters of the World. B — Oversea Countries. Proceedings of symposium II. International Geological Congress. Report of the XXIII. Sessions Czechoslovakia, 1968, Academia Prague, 1969, p. 289—292.

Mineral and Thermal Waters of the World A — Europe. Proceedings of symposium II. International Geological Congress. Report of the XXIII. Session Czechoslovakia 1968, Academia Prague, 1969a, 177 p.

Mineral and Thermal Waters of the World B — Oversea Countries. Proceedings of symposium II. International Geological Congress. Report of the XXIII. Session Czechoslovakia 1968, Academia Prague, 1969b, 304 p.

Priçajan A. Apel mynerale çitermale din Romania. Editura Tehnica, 1972. p. 195.

Waring G. A. Thermal springs of the United States and other countries of the world. A summary U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 492, 1965. 383 p.

Zieschang J. Die Mineralwässer der Deutschen Demokratischen Republik. Proceedings of symposium II Mineral and Thermal Waters of the World A — Europe. Prague, 1969, p. 59—68.

## 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ

### 5.1. ПОНЯТИЕ О ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОДАХ

Освоение нетрадиционных видов полезных ископаемых — актуальнейшая задача современности. Целесообразность переработки гидроминерального сырья подтверждается длительной добычей во многих странах поваренной соли, йода, брома, калия, магния, однако поликомпонентный состав водных растворов используется еще далеко не полностью. Особенно велико значение «жидких руд» для получения редких химических элементов (лития, рубидия, цезия, бора и др.), уровень внедрения которых во многом определяют темпы развития электронной промышленности, космической техники, атомной энергетики и общего научно-технического прогресса. Несомненно, что со временем «рассолы станут такими же источниками полезных ископаемых, как и твердые минеральные концентрации» [Сидоренко, 1975, с. 32].

Накопление сведений о подземных гидроминеральных ресурсах тесно связано с развитием гидрогеохимического направления в гидрогеологии, успехами аналитической химии и происходило одновременно с изучением закономерностей формирования всей подземной гидросферы. В настоящее время учение о промышленных водах оформилось как одно из направлений науки о рудных и нерудных полезных ископаемых. Теоретическая база этого направления создавалась многими учеными, среди основоположников — В. И. Вернадский, А. Е. Ферсман, А. М. Овчинников. Большой вклад в познание закономерностей распространения, фор-

Ряд	Г р у п п ы																																																														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		0																																																					
1	H										He																																																				
2	Li 700	Be 0,1	B 23000	C 1000	N 1000	O	F 15000			Ne																																																					
3	Na 100000	Mg 10000	Al 13000	Si 13000	P 200	S 10000	Cl 40000			Ar																																																					
4	K 60000	Ca 205000	Sc 0,00n-0,0n	Ti n-10	V 0,1	Cr 0,1	Mn 2000	Fe 47000	Co 3,6	Ni 30																																																					
5	Cu 4650	Zn 5000	Ga 0,0n-0,1	Ge 0,1	As 905	Se 0,1	Br 17500			Kr																																																					
6	Rb 960	Sr 10000	Y 0,1	Zr 0,1	Nb 0,1	Mo n	Tc	Ru 0,00n	Rh	Pd																																																					
7	Ag n	Cd 40	In 0,00n	Sn 0,1	Sb n	Te 0,00n	I 1400			Xe																																																					
8	Cs 25	Ba 460	La 0,1	Hf 0,00n	Ta 0,0n	W 56	Re 0,0n	Os	Ir	Pt <0,00n																																																					
9	Au 0,00n	Hg 0,1	Tl 3,5	Pb 125	Bi 0,00n	Po	At			Rn																																																					
10	Fr	Ra n-10 <sup>-5</sup>	Ac	Hu																																																											
<table border="0" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td>0,1</td><td>Ce</td><td>0,1</td><td>Pr</td><td>0,1</td><td>Nd</td><td>0,0n</td><td>Pm</td><td>0,0n</td><td>Sm</td><td>0,0n</td><td>Eu</td><td>0,0n</td><td>Gd</td><td>0,0n</td><td>Tb</td><td>0,0n</td><td>Dy</td><td>0,00n</td><td>Ho</td><td>0,00n</td><td>Er</td><td>0,00n</td><td>Tm</td><td>0,0n</td><td>Yb</td><td>0,00n</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>0,1</td><td>Th</td><td>Pa</td><td>U 2000</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>(No)</td><td>(Lr)</td><td colspan="10"></td> </tr> </table>											0,1	Ce	0,1	Pr	0,1	Nd	0,0n	Pm	0,0n	Sm	0,0n	Eu	0,0n	Gd	0,0n	Tb	0,0n	Dy	0,00n	Ho	0,00n	Er	0,00n	Tm	0,0n	Yb	0,00n	Lu	0,1	Th	Pa	U 2000	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)										
0,1	Ce	0,1	Pr	0,1	Nd	0,0n	Pm	0,0n	Sm	0,0n	Eu	0,0n	Gd	0,0n	Tb	0,0n	Dy	0,00n	Ho	0,00n	Er	0,00n	Tm	0,0n	Yb	0,00n	Lu																																				
0,1	Th	Pa	U 2000	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	(No)	(Lr)																																																	
<table border="0" style="width:100%; text-align:center;"> <tr> <td><b>Br</b> 17500</td><td>1</td> <td><b>Sr</b> 1000</td><td>2</td> <td><b>Pb</b> 125</td><td>3</td> <td><b>Mo</b> n</td><td>4</td> <td colspan="8"></td> </tr> </table>											<b>Br</b> 17500	1	<b>Sr</b> 1000	2	<b>Pb</b> 125	3	<b>Mo</b> n	4																																													
<b>Br</b> 17500	1	<b>Sr</b> 1000	2	<b>Pb</b> 125	3	<b>Mo</b> n	4																																																								

Рис. 5.1. Промышленно ценные элементы Периодической системы Д. И. Менделеева в подземных водах (по С. Р. Крайнову и В. М. Швецу [1980] с дополнениями).

1 — добыча из подземных вод производится давно и во многих странах; 2 — широкое промышленное извлечение только начинается; 3 — добыча практически не производится, но на ряде месторождений возможна; 4 — извлечение не ведется вследствие низкой концентрации в водах (цифры — порядок максимальных содержаний в водах, мг/л).

мирования, практического значения гидроминерального сырья внесли Л. С. Балашов, Е. А. Басков, Б. А. Бедер, Т. Ф. Бойко, С. С. Бондаренко, М. Г. Валяшко, Г. А. Голева, И. К. Зайцев, Б. И. Коган, С. Р. Крайнов, А. В. Кудельский, Е. В. Пиннекер, Н. А. Плотников, Е. В. Посохов, М. В. Сыроватко, Н. И. Толстухин, Д. Е. Уайт, Я. К. Бентор, Д. Ленци, Н. Удзумаса и многие другие. Ныне известны основные закономерности распространения промышленных вод с определенным набором элементов, встречаемых в тех или иных геолого-структурных и геохимических условиях. Подготовлена фактологическая и теоретическая основа для прогнозирования месторождений.

Промышленными принято называть природные воды с концентрацией элементов, обеспечивающей в конкретных гидрогеологических условиях экономически целесообразную их добычу и переработку [Изыскания..., 1971].

В природных водах обнаружены почти все элементы Периодической системы (рис. 5.1). Их концентрация в соответствии с химическими свойствами и миграционной активностью в определенных условиях изменяется в очень больших пределах — от долей микрограмма до сотен граммов на литр. Для добычи важны, естественно, не все из них. Целесообразность добычи зависит как от содержания компонента в водах, так и от степени его практической значимости, обеспеченности запасами за счет других источников минерального сырья и сравнительной стоимости переработки. Большинство редких и рассеянных ценных элементов вообще очень редко образуют природные скопления, поэтому само присутствие их в водах может представлять практический интерес. Напротив, часть растворенных компонентов, в том числе относящихся к микрокомпонентам, обеспечена запасами вне гидросферы или кондиции для них весьма высоки (железо, кальций, сера, кремний и др.). Добыча из вод некоторых соединений и элементов оправдана лишь при комплексном использовании сырья и вы-

Таблица 5.1

Минимально допустимая концентрация ценных компонентов в промышленных водах [Изыскания..., 1971; Балашов и др., 1975; Посохов и Толстухин, 1977]

Компонент	Минимальная концентрация, мг/л	Компонент	Минимальная концентрация, мг/л
NaCl	$5 \cdot 10^4$	Mg	1000—5000
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	$5 \cdot 10^4$	K	350—1000
NaHCO <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$5 \cdot 10^4$	Ra	$10^{-8}$ — $10^{-6}$
Br	250—500	Rb	3
J	18	Cs	0,5
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	200	Li	10—20
J и B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10 и 75	Sr	300
J и Br	10 и 200	Ge	0,05

полнении природоохранных требований. Так, ныне понизилось самостоятельное значение подземных рассолов как источника хлористого натрия в связи с его добычей из искусственных растворов, приготавливаемых в недрах путем закачки пресной воды в пласты каменной соли.

Понятие о промышленной ценности подземных вод, таким образом, относительно. Требуется детальное изучение общего и микрокомпонентного состава, особенностей распространения и залегания, эксплуатационных запасов вод, учет заинтересованности и норм отрасли потребления. В частности, глубина залегания промышленных вод на месторождениях должна быть не более 2—4 км, динамический уровень — не более 200—600 м, а дебит скважин — не менее 200—500 м<sup>3</sup>/сут [Плотников, 1958]. Основным качественным признаком наиболее распространенных подземных промышленных вод служит достаточно высокая общая минерализация (обычно термины «рассолы» и «промышленные воды» употребляются как синонимы). Концентрация извлекаемых из вод элементов и соединений должна быть не меньше минимально допустимого уровня (табл. 5.1).

Перспективность крупных регионов на промышленные воды может быть определена по повышенному содержанию в них ценных компонентов, существенно превышающему фоновые значения. Как для территории СССР, так и для других стран повышенной является концентрация (мг/л): йода — 10, брома — 300, бора — 50, лития — 5, калия — 500, рубидия — 1, цезия — 0,3, стронция — 300 [Методические рекомендации..., 1977]. Для многих других элементов даже ориентировочные критерии не обоснованы из-за отсутствия достаточного опыта извлечения их из вод. Нередко воды называют металлоносными просто исходя из факта обнаружения металлов в водах.

Наибольшей способностью к накоплению и встречаемостью в подземных водах характеризуются из главных анионогенных элементов — хлор, из катионогенных — натрий, магний, кальций. Соответственно обогащенные химическими элементами воды являются почти без исключений хлоридными; подземные воды гидрокарбонатного и сульфатного состава в обычных условиях промышленного значения не имеют, хотя из рапы поверхностных водоемов образуются залежи соды, мирабилита и другого промышленного сырья.

Высокой гидрофильностью обладают многие из катионогенных и анионогенных элементов (табл. 5.2). Из них литий, рубидий, цезий, калий, стронций, бром, йод, бор в основном и определяют промышленную ценность вод. Напротив, элементы-комплексообразователи в подземных водах не накапливаются. Содержание большинства из них в водах значительно меньше 1 мг/л. Только в особых случаях концентрируются цинк, медь, уран, например в кислых рудничных и термальных водах, представляющих иногда промышленный интерес.

Общепринятая систематика промышленных вод, аналогичная какой-либо из известных классификаций подземных вод, не разработана. Поскольку основной показатель промышленных вод — содержание ценных

Таблица 5.2

## Степень концентрирования химических элементов в природных водах [Крайнов, Швец, 1980]

Элемент	Среднее содержание в породах земной коры, мг/кг	Содержание в океанической воде, мг/л	Максимальное содержание в подземных водах, мг/л	Отношение содержания в подземных водах к содержанию в породах
<i>Катионогенные элементы</i>				
Li	32	0,2	700	21,9
Na	25 000	10 500	160 000	6,4
K	25 000	380	60 000	2,4
Rb	150	0,12	960	6,4
Cs	3,7	0,0005	25 *	6,75
Mg	18 700	1350	110 000	5,9
Ca	29 600	400	205 000	6,9
Sr	340	8	10 000	29,4
<i>Элементы-комплексообразователи</i>				
Be	3,8	0,0000006	0,5	0,13
Al	80 500	0,01	13 000	0,16
Ti	4 500	0,001	20	0,004
Mn	1 000	0,002	2000	2,0
Fe	46 500	0,01	47 000 **	1,01
Zn	83	0,01	50 000 **	602
Cu	47	0,003	46 500 **	989,4
La	29	0,0003	1,0	0,034
Y	20	0,0003	0,5	0,025
Nb	20	0,00001	0,5 ***	0,025
Sn	25	<0,003	0,5	0,02
Ta	25	<0,00001	0,05 ***	0,002
U	2,5	0,003	2000 **	800
			100 ****	40
<i>Анионогенные элементы</i>				
B	12	4,6	23 000	1916
F	660	1,3	15 000 ***	22,7
Cl	170	19 000	400 000	2353
Br	2,1	65	17 500	8333
J	0,4	0,06	1 400	3500
Ge	1,4	0,00007	0,2	0,14
As	1,7	0,003	905 **	532,4
Mo	1,1	0,01	5 ****	4,55
W	1,3	0,0001	56 ****	43

\* Углекислые воды, в том числе термальные.

\*\* Кислые рудничные воды.

\*\*\* Щелочные рудничные воды.

\*\*\*\* Воды содовых озер.

Без звездочки — рассолы артезианских бассейнов.

компонентов, принято руководствоваться его минимально допустимыми значениями и соответственно называть воды йодными, бромными, литиевыми, борными, стронциевыми и т. д. Очень часто в водах присутствует несколько ценных компонентов, что учитывается при их наименовании и определении промышленного назначения.

По другим признакам из состава подземной гидросферы промышленные воды отчетливо не выделяются, но некоторые их свойства (высокая минерализация, хлоридный состав и т. д.) и условия проявления весьма типичны. Так, по характеру залегания [Основы гидрогеологии, 1980] к ним часто относятся воды артезианские межпластовые и погруженных трещинных зон, почти всегда — воды глубинные осадочных толщ и разломов глубокого заложения. В ряду генетических типов подземных вод промышленными могут быть воды любого происхождения. Термальные воды чаще, чем холодные, обогащены промышленными компонентами. Даже при однообразном в целом хлоридном составе рассольных вод concentra-

дия и набор ценных компонентов существенно варьируют в зависимости от их катионного состава.

Наряду с подземными водами в промышленном отношении перспективны также некоторые поверхностные и техногенные воды [Балашов и др., 1981; Методические рекомендации..., 1977; Клименко и др., 1981]. Нередко они не имеют принципиальных различий между собой по химическому составу, иногда — и происхождения. Ниже приводится систематика природных промышленных вод.

### I. Подземные воды

1. Рассолы бассейнов пластовых вод (платформ, краевых прогибов, межгорных впадин).
2. Трещинные воды гидрогеологических массивов, зон тектонических нарушений и рифтовых зон.
3. Термальные воды вулканических областей.

### II Поверхностные воды

1. Морские.
2. Рассолы озерные, погребенные и межкристальные в соленосных осадках водоемов четвертичного возраста.

### III. Техногенные сточные воды

1. Нефтепромысловые.
2. Солепромысловые.
3. Рудников и шахт.
4. Геотермоэнергетических установок.
5. Опреснительных установок.
6. Геотехнологических предприятий.

Понятно, что практическое значение всех разновидностей природных вод определяется химическим составом и условиями их добычи. Подземные воды из-за условий залегания используются несравненно меньше, чем поверхностные и техногенные, хотя содержат большие запасы промышленных компонентов. Последние достаются предприятиям-переработчикам практически без затрат. Кроме того, почти весь мировой практический опыт использования гидроминеральных ресурсов накоплен при эксплуатации поверхностных (морских и озерных) и неглубоко залегающих межсолевых рассолов, а также техногенных вод.

## 5.2. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОД

В соответствии с всеобъемлющей вертикальной гидрогеохимической зональностью минерализация подземных вод с увеличением глубины залегания возрастает и достигает, как правило, сотен граммов на литр; одновременно растет и содержание растворенных микрокомпонентов. Отсюда главная особенность распределения в геологическом разрезе ценных на какие-либо компоненты подземных вод — их повсеместное нахождение на той или иной глубине. При прочих равных условиях верхняя граница распространения промышленных вод чаще всего контролируется мощностью зоны интенсивного водообмена. В пределах криолитозоны они могут быть встречены уже в первом от поверхности водоносном горизонте, как, например, на Сибирской платформе. По всему северу западной части платформы под зоной подземных вод в твердой фазе мощностью 100—800 м повсеместно прослеживаются хлоридные рассолы, обогащенные многими компонентами в количествах, намного превышающих минимальные концентрации (см. табл. 5.1).

Соответственно и в условиях аридного климата присутствие рассолов в верхних горизонтах более вероятно, чем пресных и слабосоленых вод. Наоборот, в условиях увлажненного климата, особенно в горно-складчатых областях, а также на кристаллических щитах, сложенных инертными

в химическом отношении породами, глубина залегания промышленных вод максимальная.

Наиболее широко промышленные воды распространены в гидрогеологических кратотгенах — в бассейнах пластовых вод платформ, а также передовых прогибов и межгорных впадин. Представлены они исключительно хлоридными солеными водами и рассолами — натриевыми, кальциевыми, магниевыми или имеющими сложный катионный состав. Из них основными носителями наиболее ценных в промышленном отношении компонентов являются кальциево-натриевые и натриево-кальциевые, кальциево-магниевые и магниевые-кальциевые, а также натриево-магниевые рассолы [Методические рекомендации..., 1977].

Хлоридные натриевые рассолы распространены в соленосных бассейнах и по составу подобны раствору галита. Они бедны микрокомпонентами, в практическом отношении могут рассматриваться только как источник хлористого натрия; таковы рассолы (до 320 г/л) выщелачивания Сибирской платформы и надсолевые рассолы многих других регионов. В бассейнах с преимущественно терригенным осадочным чехлом преобладают кальциево-натриевые соленые воды и рассолы. Они бывают перспективны на йод, бром, иногда — стронций, редкие щелочные элементы, что характерно для пластовых вод бассейнов передовых прогибов и межгорных впадин, сформировавшихся в позднемезозойское — четвертичное время и под влиянием альпийского тектогенеза. Таким бассейнам свойственны высокая сейсмическая и неотектоническая активность, повышенный геотермальный поток, региональная нефтегазоносность. Примерами служат бассейны Предкавказья, Средней Азии, отчасти — Западной Сибири.

Хлоридные натриево-кальциевые рассолы терригенно-карбонатно-соленосных отложений верхнепалеозойского — нижнемезозойского возраста обогащены бромом, стронцием, рубидием, цезием, локально — калием, магнием свыше минимально допустимой для добычи концентрации. Таковы воды Московского, Печерского, Припятского и других бассейнов пластовых вод.

Наиболее концентрированные (до 400—600 г/л) хлоридные существенно кальциевые рассолы распространены в бассейнах с докембрийским — нижнепалеозойским осадочным чехлом. Типичными представителями таких резервуаров являются Ангаро-Ленский, Тунгусский и частично Якутский бассейны пластовых вод Сибирской платформы. При общей мощности галогенно-карбонатных и вулканогенных отложений от 2,5 до 4—6 км весьма крепкие рассолы заполняют 70—90% геологического разреза. Содержание в них калия, магния, брома, бора, редких щелочных элементов, стронция повсеместно в десятки раз превышает минимальные промышленные нормы. Именно рассолам Сибирской платформы принадлежат максимальные для подземных вод значения минерализации и концентрации в них хлора, кальция, калия, стронция, брома. Они образуют огромную провинцию промышленных вод площадью около 1,5 млн. км<sup>2</sup> (рис. 5.2). Весьма благоприятны и условия их распространения. В северных районах Тунгусского и Якутского бассейнов они вскрываются скважинами на глубине всего 200—600 м при практически полном отсутствии подземных вод иного состава и на сотнях тысяч квадратных километров разгружаются в гидросеть [Пиннекер, Борисов, 1973].

Аналогичные по составу и минерализации рассолы известны также в Припятской, Печерской, Прикаспийской впадинах и на Туранской плите, но распространены в каждом случае сравнительно локально и приурочены к глубоким горизонтам в меж- и подсолевых отложениях.

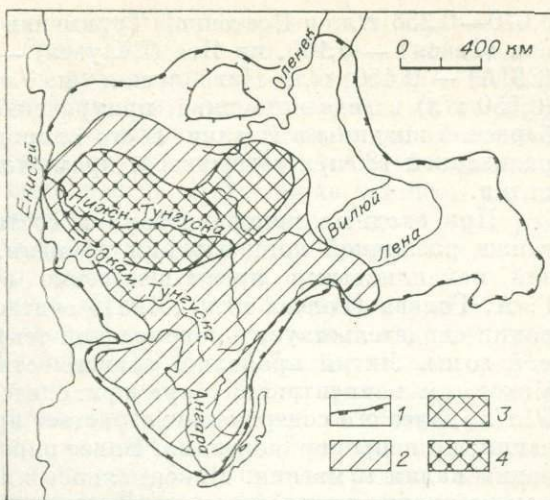
Весьма крепкие, а тем более предельно насыщенные рассолы в породах моложе юрского возраста практически не встречаются. Большей частью они заключены в породах кембрия, силура и девона [Методические рекомендации..., 1977].

В целом приуроченность промышленных рассолов к осадочным бассейнам является лишь общей тенденцией. Степень разнообразия и кон-

Рис. 5.2. Распространение на Сибирской платформе промышленных вод — хлоридных существенно кальциевых рассолов с минерализацией 300—400 г/л и более.

1 — граница Сибирской платформы; 2 — территория сплошного распространения рассолов в галогенно-карбонатных отложениях нижнего среднего кембрия; 3 — зона заполнения рассолами всего осадочного чехла (кроме зоны подземных вод в твердой фазе); 4 — зона открытой разгрузки рассолов.

Содержание в рассолах брома, бора, калия, стронция, магния и редких металлов повсеместно превышает минимальные промышленные нормы.



центрации ценных компонентов непосредственно связана с различиями возраста и литологического состава пород (главным образом по признаку наличия или отсутствия соленосных отложений), палеогидрогеологическими условиями. При самом широком распространении рассолов во многих артезианских бассейнах собственно месторождения промышленных вод, как правило, ограничены по площади и разрезу.

Типичные промышленные компоненты подземных вод артезианских бассейнов — бром, йод, стронций, рубидий, цезий, бор, калий, магний. Особенности распространения и концентрирования в водах этих элементов существенно различаются, хотя им и свойственны парагенетические ассоциации.

Наиболее выдержаны по концентрации и степени распространения в водах бром и стронций. Для них характерно региональное распространение в пределах бассейнов пластовых вод. При отсутствии в составе вмещающих пород соленосных фаций содержание брома не превышает, как правило, 0,4—0,6 г/л, а стронция 0,05—0,1 г/л. В соленосных бассейнах их содержание увеличивается с ростом общей минерализации и при ее значении 300—400 г/л составляет в среднем по 2—5 г/л, а в предельно насыщенных рассолах (более 500 г/л) достигает 8—10 г/л. Бром (как и стронций) непременно присутствует в хлоридных кальциевых рассолах, обуславливая величину хлор-бромного отношения менее 300, обычно в пределах 40—60, что свойственно рассолам Сибирской платформы.

Йод, напротив, по содержанию и встречаемости в подземных водах не проявляет отчетливых закономерностей, связанных с составом и минерализацией вод, литолого-стратиграфическими и палеогидрогеологическими условиями [Кудельский, 1976]. Наибольшая концентрация йода устанавливается для рассолов с минерализацией 100—200 г/л. Однако известны воды сравнительно низкой минерализации, но сильно обогащенные йодом: в бассейнах Предкавказья, Западной Сибири и других воды при минерализации менее 80 г/л содержат до 0,1 г/л йода. Типичны колебания его концентрации на небольших расстояниях. Концентрирование йода характерно для вод, приуроченных к толщам морских отложений, обогащенных органическим веществом, общей мощностью более 3—5 км, прогретым на глубине залегания фундамента до 125° и более. Благоприятны для нахождения йодных (а также бромных) вод нефтегазоносные бассейны в передовых прогибах, межгорных и внутриплатформенных впадинах. Тем не менее йод не всегда присутствует в нефтяных водах в значимом количестве. Иногда месторождения йодных и йодобромных вод тяготеют к зонам глубинных разломов.

Среднее содержание йода в подземных водах составляет 0,0001—0,001 г/л [Кудельский, 1976]. Однако имеется много фактов проявления большей концентрации йода, чем требуется для его рентабельной добычи из вод (см. табл. 5.1). Например, в водах Припятского прогиба йода

0,070—0,233 г/л, в Восточной Туркмении (Шараплы) — до 0,100, в Альпах (Савоя) — 0,100, на Яве (Белувел) — до 0,140, в бассейне Парадокс (США) — 0,450 г/л. Наибольшая из известных концентраций йода (0,550 г/л) в воде источника, приуроченного к глинистым сланцам Ломбардской впадины в Италии. В его хлоридном натриевом рассоле с минерализацией 180 г/л содержится, кроме того, 0,625 брома и 0,125 г/л лития.

При сходных минерализации и составе подземных вод может быть также различной концентрация рубидия, цезия, бора. Рубидий и цезий накапливаются преимущественно в зонах молодого тектогенеза. Г. А. Голева [Голева и др., 1981] считает, что цезий в любой концентрации свидетельствует о современной тектонической активности исследуемой зоны. Литий проявляет зависимость от возраста водоносных пород. Максимум концентрации бора приходится на минерализацию вод 50—60 г/л; далее его содержание возрастает при увеличении общей минерализации, но непропорционально. Более определенны условия концентрирования калия и магния. Максимальное их содержание обнаруживается в весьма крепких и предельно насыщенных существенно кальциевых и магниевых рассолах, особенно межсолевых.

В гидрогеологических орогенах подземные воды промышленного значения распространены сравнительно локально, как и в областях активного вулканизма. Трещинный характер распространения обуславливает ограниченность их эксплуатационных запасов, не обеспеченных достаточно большими геологическими запасами. Минерализация наиболее обогащенных микрокомпонентами вод изменяется от 5—6 до 30—40 г/л, преобладающий состав — хлоридный натриевый. Они не перспективны на йод, бром и стронций, зато могут рассматриваться как важный источник германия. Обнаруживается приуроченность вод с высокой концентрацией редких щелочных элементов к зонам глубинных разломов, а также к сейсмически активным районам [Методические рекомендации..., 1977].

В СССР подземные промышленные воды изучаются систематически более 25 лет. На основе постоянно совершенствуемой методики подземные воды картируются как сырье на различные компоненты [Изыскания..., 1971; и др.]. В качестве элементов картирования выделяют провинции, области, районы и месторождения йодных, бромных, редкометалльных и других вод. Провинции объединяют крупные тектонические структуры — платформы и горно-складчатые сооружения, что соответствует системам бассейнов пластовых вод и массивов трещинных вод [Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология, 1980]. В пределах провинции выделяются области подземных промышленных вод, подразделяемые в свою очередь на районы с учетом содержания в водах полезных компонентов. Н. А. Маринов [1980], кроме указанных таксонов, выделяет также зоны жидких руд, связанные с глубинными разломами и рифтогенными структурами, и провинции: допалеозойскую, палеозойскую, мезозойскую, альпийскую и кайнозойского тектогенеза.

### 5.3. СОСТОЯНИЕ И ПРИМЕРЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В настоящее время образовался большой разрыв между степенью изученности подземных вод как полезного ископаемого и уровнем освещенности их практического использования. По вопросам распространения, формирования и геохимии промышленных вод существует многочисленная литература. Причем ныне гидроминеральное сырье изучается не только гидрогеологами, но и специалистами широкого профиля наравне с твердыми полезными ископаемыми. В то же время опыт использования вод обобщен весьма слабо. Отрасли промышленности, перерабатывающие подземные воды, располагают полноценными и детальными технико-экономи-

ческими материалами, характеризующими эффективность получения из них хлористого натрия, бора, брома, йода, калия, магния и т. д. Однако такие материалы имеют частный внутриотраслевой характер и не находят обобщения даже по результатам деятельности отдельных предприятий [Коган, Названова, 1974]. Литература о степени промышленного использования подземных вод весьма скудна, отрывочна и дает главным образом перечень извлекаемых компонентов. Надо также помнить, что подземные воды остаются нетрадиционным минеральным сырьем, а ограниченный опыт их использования базируется на опыте переработки морской воды и рапы засоленных озер, также не весьма богатом.

Количество извлекаемых из подземных вод элементов все еще невелико. Длительное время их массовое промышленное использование ограничивалось добычей поваренной соли. В XIX в. в Италии начали получать из парогидротерм борную кислоту, а в начале XX в. привычной стала добыча йода и брома. Заметно изменилось положение во второй половине XX в., когда резко увеличилось количество используемых минеральных ресурсов. Промышленное использование большинства редких элементов началось всего несколько десятилетий назад: это новые технические материалы. До сих пор технология их получения даже из твердых полезных ископаемых находится в стадии становления [Коган, 1979].

Угроза истощения в обозримом будущем наиболее богатых и удобно расположенных твердых руд в развитых странах оказалась реальной. Это повлияло на формирование всеобщего мнения о подземных водах как о многоотраслевом источнике промышленного сырья, запасы которого очень велики, а способы добычи более привлекательны, чем трудоемкая разработка горных пород. Начинает широко внедряться добыча из вод калия, магния, стронция, бора, лития, рубидия, цезия. Менее определенны перспективы многих других элементов, хотя целесообразность извлечения в благоприятных условиях таких, как свинец, цинк или медь, не вызывает сомнений.

**Хлористый натрий.** «Среди всех солей самая главная та, которую мы называем просто солью» — так исчерпывающе оценил важность пищевой соли акад. А. Е. Ферсман. В истории различных стран и народов имеется много свидетельств того, что подземные хлоридные натриевые рассолы наряду с морской водой и солеными озерами постоянно являлись источником поваренной соли. Особенно велика была их роль в частях континентов, удаленных от берегов южных морей, и в жарких пустынных районах. В первую очередь использовались источники рассолов и колодцы, о чем упоминается в русских рукописях XII в., а в XVI в. глубоко залегающие рассолы стали добываться в России при помощи буровых скважин, оборудованных деревянными трубами. Для многих городов солеварение было важнейшим промыслом, на что указывают их названия: Солигалич, Соликамск, Сольвычегодск, Соль-Илецк, Усолье. Постоянный дефицит соли вынуждал людей осваивать все известные естественные солепроявления; на огромных просторах России существовало множество кустарных солеварен. Остатки их, а также названия на картах донныне сохранились, например, в бассейнах Ангары, Лены, Нижней и Подкаменной Тунгуски и других рек. В Сибири такие сользаводы еще в первой половине XX в. служили главным поставщиком пищевой соли. Один из них действует и в настоящее время — это Троицкий солеваренный завод в Красноярском крае, основанный в XVII в. Ранее заводом использовались соленые ключи на р. Усолке (приток р. Тасеевой), ныне подземный рассол (около 320 г/л) качают из скважин. Рассолоносный горизонт залегает на глубине менее 100 м в трещиноватых доломитах и алевролитах нижнего кембрия. Путем выпаривания рассола добывается ежегодно 5000 т соли [Пиннекер, 1966].

С ростом народонаселения и развитием химической промышленности увеличилась потребность в хлористом натрии и повысились требования к его качеству. Бывшее значение подземных рассолов утратилось, так как

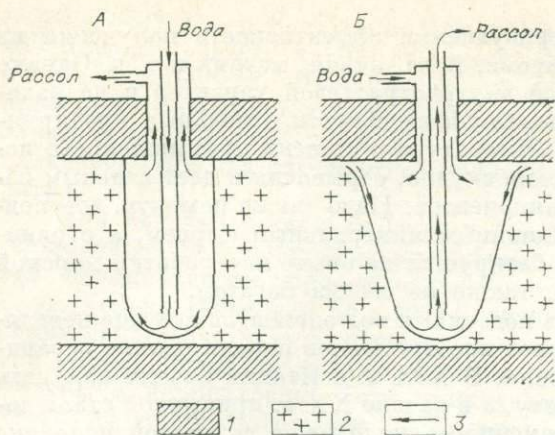


Рис. 5.3. Добыча хлоридных натриевых рассолов выщелачиванием каменной соли через буровые скважины (по А. Е. Ходькову). Методы: А — прямотока, Б — противотока. 1 — надсолевые и подсолевые породы; 2 — залежь каменной соли; 3 — направление движения пресной воды и рассола.

внедрил способ добычи хлористого натрия путем растворения пресной водой каменной соли в недрах через буровые скважины. Этот способ позволяет получать рассол максимальной концентрации (около 320 г/л) и в требуемом объеме без риска нарушить режим притока и качество, как при использовании природных рассолов. Наличие в искусственных рассолах обычной примеси кальция, магния, сульфат-иона сверх допустимых норм требует их очистки, однако себестоимость рассолов, получаемых выщелачиванием ископаемых солей через скважины, по сравнению с рассолами, полученными другими способами, является наиболее низкой [Дудко, Лехтияки, 1967].

Смена сырья произошла в 1926 г. на крупнейшем в Сибири Усольском солеваренном заводе, работавшем с XVII в. на базе природных рассолов. Ныне эксплуатируется каменная соль, залегающая мощными пластами в породах нижнего кембрия на глубине от 700 до 1400 м. Метод выщелачивания каменной соли — прямоточный (рис. 5.3). Пресная вода нагнетается по внутренней трубе до забоя скважин (1370—1380 м). Рассол выходит по кольцевому зазору между нагнетательной трубой и кондуктором, опущенным на глубину 670—820 м. Потребляя ежедневно около 1000 м<sup>3</sup> рассола с минерализацией около 320 г/л, завод производит в год 100 000 т первосортной пищевой соли [Пиннекер, 1966].

Подобным же образом во многих странах получают хлористый натрий как сырье для производства хлора, едкого натра, пластмасс и других продуктов химической промышленности. Всего в мире ежегодно добывается более 100 млн. т хлористого натрия, из них в США — 37,2, СССР — 14,3, Англии — 7,6, ФРГ — 9,5 млн. т [Советский энциклопедический словарь, 1981]. Большая часть добычи приходится на выщелачивание подземных залежей каменной соли, сбор рапы и соляных осадков поверхностных водоемов. Вместе с тем продолжается переработка и подземных рассолов. В частности, в Англии широко используются рассолы, залегающие в районе Чеширского соляного месторождения на глубине 35—100 м; минерализация их 306—310 г/л, содержание хлористого натрия 99,5%. Соль получают выпариванием в открытых емкостях или вакуум-выпарных аппаратах. Природные рассолы используются также в ФРГ, Швейцарии и других странах [Коган, Названова, 1974]. Увеличивается добыча хлористого натрия одновременно с комплексной переработкой нефтяных и иных техногенных вод.

**Бром и йод.** По широте распространения в подземных водах бром и йод сравнимы с хлористым натрием и превосходят многие другие промышленные компоненты. Они исключительно редко концентрируются в горных породах, сырьем для их получения служит гидросфера и водная растительность (для йода). В СССР из подземных вод добывается весь йод и 70% брома; остальные 30% брома получают из рапы озер и морских заливов и отходов калийного производства [Изыскания..., 1971]. Дальнейшее развитие подбромной промышленности полностью обеспечивается

выявленными запасами этих элементов в подземных водах. Только одно Тюменское месторождение в Западной Сибири может обеспечить сырьем йодный завод с производительностью, в три раза превышающей производство йода в СССР; при содержании йода 0,025—0,045 г/л воды неоконского горизонта занимает обширную северную часть Тобольского артезианского бассейна [Бондаренко и др., 1972]. Перспективны для освоения следующие месторождения: йодных вод — Славянско-Троицкое, йодобромных — Западно-Туркменское и Прикуринско-Апшеронское, преимущественно бромных вод — Волго-Камское. Имеются месторождения также во многих других районах страны — Московском, Припятском, Печорском, Каракумском, Ангаро-Ленском и других артезианских бассейнах [Балашов и др., 1981].

Добываются йод и бром из рассолов Краснокамского месторождения в Пермской области; Бабазановского, Зыхского и Хиллинского (йод) месторождений в Азербайджане; Баядагского, Небит-Даг-Монжуклинского, Нефтечалинского в Туркмении. Преобладающий тип используемых вод — хлоридные кальциево-натриевые рассолы с минерализацией 100—250 г/л.

Одним из старейших йодобромных предприятий в СССР является Челекенский завод. Йодобромные рассолы с минерализацией 150—290 г/л и хлоридного кальциево-натриевого состава содержат в среднем 0,024 г/л йода и 0,450 брома. Месторождение приурочено к красноцветным отложениям неогенового возраста. Наиболее обводнена верхняя часть этой толщи мощностью около 1000 м. В ее пределах выделено 12 водоносных горизонтов, представленных рыхлыми мелкозернистыми песками, чередующимися с плотными глинами. Воды термальные, температура их при самоизливе из скважин достигает 80°. Специально на йодобромные воды пройдены скважины глубиной 700—1100 м. Кроме йода и брома в водах содержатся в высокой концентрации бор, стронций, рубидий, цезий, свинец, цинк, медь, кадмий, мышьяк [Лебедев, 1975].

В зарубежных странах производство брома в 1966 г. составляло примерно 150 000 т/г. В США в это же время потреблялось 98 100 т/г при производственных мощностях бромных заводов 138 000 т/г. Сырьем для добычи более 70% брома служат маточники соляных промыслов, морская вода и рапа внутренних водоемов — оз. Серлс и др. [Изыскания..., 1971]. В производство все больше вовлекаются попутные нефтяные воды (штаты Арканзас, Мичиган, Западная Виргиния, Калифорния). Объем поступления этих вод из промысловых скважин непрерывно растет, в 1966—1970 гг. увеличился с 280 до 1230 млн. м<sup>3</sup> [Коган, Названова, 1974].

В Европе производство брома отстает от роста потребления, в связи с чем расширяется его добыча в Англии и ФРГ. Во Франции бром, по данным 1960 г., получали из щелоков калийных производств и маточников соляных промыслов.

Мировой известностью в качестве гидроминерального сырья пользуются рассолы Мертвого моря, расположенного в зоне Великих Афро-Азиатских грабен в области молодого тектоно-магматизма. Имеются предположения, что его воды являются не реликтовыми морскими водами, а принесенными: одна треть принесена р. Иордан и две трети — высокоминерализованными водами источников. Минерализация рассола в Мертвом море увеличивается сверху вниз — от 273 г/л в поверхностном слое до 315 г/л в среднем для всего объема моря. Содержание бромистого магния в рассоле достигает 5 г/л. Промышленная эксплуатация рассолов Мертвого моря осуществляется в основном Израилем. Производство брома непрерывно увеличивается, только в 1971—1972 гг. его получено 13 500 т, что на 12% больше, чем в предыдущем году. Большая часть бромной продукции экспортируется. Одновременно добываются также соли калия, магния, кальция, возможно лития.

Италия — единственная страна в Западной Европе, получающая йод из подземных вод. С 1926 г. эксплуатируются минеральные источники в Сальсомаджоре, в которых содержится 0,030—0,150 г/л йодистого магния

(по другим данным — 0,550 г/л). Месторождение йодных вод находится также вблизи Пармы. Добыча йода из хлоридного натриевого рассола с минерализацией 180 г/л и содержанием йода 0,060 г/л составляет 3 т в неделю. Производительность йодных заводов оценивается примерно в 30 т йода в год; здесь же добывается небольшое количество брома.

В США производится сравнительно небольшое количество йода (277 т в 1964 г.). Попутно с бромом, соединениями кальция, магния и калия его извлекают из нефтяных вод в Эльдorado (штат Арканзас), Мидленде (штат Мичиган), в штате Калифорния. На первом месте по производству йода в 1968 г. находилась Япония (3590 т). Использовались исключительно подземные минерализованные воды, в бассейне Ниигати содержащие 0,100—0,120 г/л йода [Коган, Названова, 1974].

**Калий, бор, стронций, магний и другие элементы.** Запасы и разнообразие подземных вод в СССР позволяют получать из них обширный набор ценных компонентов. Более полная промышленная переработка вод является делом ближайшего будущего, особенно в связи с последними правительственными постановлениями об охране природы и полном использовании полезных ископаемых. Разработана полупромышленная технология извлечения меди и цинка из кислых сульфатных вод рудных месторождений. Исследуется технология получения рубидия, цезия, стронция, магния и калия из вод различного состава.

По величине прогнозных ресурсов промышленных вод и концентрации в них ценных компонентов особенно перспективна область Восточного Предкавказья. Ожидается высокая рентабельность получения редких щелочных элементов; себестоимость добычи сырья не превысит 20% от предполагаемой стоимости товарной продукции (на действующих йодобромных заводах этот показатель достигает 50% [Балашов и др., 1981]). На проектируемых гидрогеотермальных электростанциях в Дагестане и Ставропольском крае из отработанных в турбинах термальных рассолов с минерализацией до 150 г/л будут извлекать соду, гипс, поваренную соль, поташ [«Правда», 6 февраля 1982 г.].

Желательность комплексного использования промышленных вод особенно видна на примере Челекенского месторождения. Кроме получаемых здесь ныне йода и брома, рассолы содержат в среднем (мг/л): стронция 600—800, цинка 2—9, меди 1—3, свинца 6—10, кадмия 1—3, бора 100—400 [Лебедев, 1975]. С учетом объема рассолов, изливающихся из скважин, за год в среднем выносится (т): свинца 300—350, цинка 50, меди 24—35, кадмия 18—24, мышьяка 6—8 и др. В трубопроводах отлагается в большом количестве самородный свинец, в результате чего происходит закупорка труб, а из скважин прекращается самоизлив. Самородный свинец накапливается также в руслах ручьев, текущих от скважин.

В зарубежных странах подземные промышленные воды используются также ограниченно. В большей степени перерабатывается рапа поверхностных водоемов, таких как плейасовые \* озера Китая, Индии, Австралии, Южной и Северной Америки или Мертвого моря, а также морская вода. Приоритет в деле комплексного освоения парогидротермальных ресурсов принадлежит Италии. Уже с 1818—1827 гг. парогидротермы используются в Тоскане как источник тепловой энергии, а также борной кислоты, извлекаемой из отработанного пара и водного конденсата. Налажено производство буры, серы, сульфата и бикарбоната аммония; необходимый для получения последнего угольный ангидрит извлекается из газов парожидких подземных струй. В последние годы из парогидротерм Тосканы добывалось до 15 000 т в год различного химического сырья, в том числе 4400 т борной кислоты, 4000—5000 т буры, 620 т хлористого аммония и другие соединения [Дворов, 1975].

\* Плейаса — мелководный засоленный бассейн в пустынном районе.

Знаменитые парогидротермы Исландии (см. главу 6) также рассматриваются как промышленные воды. В 1969 г. у юго-западной оконечности острова бурением обнаружены большие ресурсы термальных рассолов и пара. Подсчитано, что на их базе можно организовать производство 250 000 т хлористого натрия, 58 000 т хлористого кальция, 25 000 т хлористого калия, 700 т брома и 500 т солей лития в год. Путем электролитической диссоциации поваренной соли намечалось получение каустической соды, хлора, соляной кислоты, различных хлорированных углеводородов. Организация производства зависит от наличия рынков сбыта [Коган, Названова, 1974]. Из горячих источников Карловых Вар в Чехословакии добывали в год 1300 т глауберовой соли, 800 т углекислого натрия и 6 т фтористого кальция. Во Франции из терм получают литий [Изыскания..., 1971]. В ФРГ из минеральных вод месторождений Баден-Баден и Висбаден извлекаются в значительном количестве рубидий и цезий.

В Китае богатейшей провинцией промышленных вод является Цайдамская впадина, расположенная на высоте 3—3,5 км над ур. м. Во впадине имеется большое число соляных озер и бороносных источников с температурой воды до 70°. Озера — единственный источник калийных солей в Китае. На их базе действует предприятие по производству калийных удобрений мощностью 200 000 т в год. Т. Ф. Бойко [1969] указывает, что из подземных рассолов Цзигуна полукустарно извлекались литий, рубидий и цезий, однако литературными данными это не подтверждается.

В Японии получают борную кислоту в небольших объемах из паров горячих источников на о. Хоккайдо, а также извлекают литий, вольфрам, мышьяк.

В Новой Зеландии из термальных вод месторождения Вайракей предполагается добывать литий и другие элементы.

Классическими примерами высокоперспективных промышленных вод являются термальные металлоносные рассолы, вскрытые в 1961—1962 гг. скважинами в долине Империял (штат Калифорния, США), а также рассолы во впадинах дна Красного моря. Последние интенсивно изучаются рядом стран. Определено, что вместе с придонными осадками в рассолах содержатся цинк, медь, свинец, марганец, кобальт, никель, серебро, золото (табл. 5.3). Рудный шлам со дна моря проходит технологические испытания. Жидкий ил можно выкачивать насосной установкой, размещенной на обычном судне.

В калифорнийских рассолах обращает на себя внимание высокое содержание лития, рубидия, цезия, свинца, цинка, бора, бария, калия и др. Промышленные перспективы рассолов изучались рядом фирм и компаний. В 1963—1967 гг. рассматривались возможности строительства теплоэлектростанции и опытного химического завода для добычи в первую очередь соединений калия, кальция и натрия, а на последней стадии — извлече-

Таблица 5.3

Содержание промышленно ценных компонентов в рудоносных гидротермальных рассолах [Лебедев, 1975; Современное гидротермальное рудоотложение, 1974; White, 1968]

Компонент	Красное море, впадина Атлантикс-II	Челекен	Геотермальный район Солтон-Си	Компонент	Красное море, впадина Атлантикс-II	Челекен	Геотермальный район Солтон-Си
	г/кг	г/л	г/кг		г/кг	г/л	г/кг
Cl	156,0	160,0	184,0	Co	0,00016	—	—
Br	0,128	0,450	0,140	Ni	0,0012	0,001	0,002
K	2,96	0,600	23,8	Pb	0,00063	0,010	0,100
Na	92,6	75,0	54,0	Cd	0,002	0,003	—
Mg	0,86	3,0	0,100	Ba	0,0009	0,050	0,200
Ca	5,00	20,0	40,0	B	0,0078	—	0,320
Sr	0,048	0,800	0,740	J	0,00003	0,030	0,022
Fe	0,107	0,020	2,290	Cs	—	—	0,020
Mn	0,100	0,050	1,400	Rb	—	—	0,168
Zn	0,00765	0,009	0,970	Li	0,00472	—	0,300
Cu	0,00026	0,003	0,008	As	—	0,0001	—

ние марганца, лития и других элементов. Предполагалось получать минимум 60 тыс. кВт электроэнергии и 500 тыс. т хлористого калия. Было подсчитано, что рассол одной только скважины обеспечит добычу 1000 т солей калия в сутки. Запасы окиси лития определены здесь в 2200 тыс. т [Коган, Названова, 1974, 1979]. Более поздние данные о фактическом использовании месторождения отсутствуют. Примечательно, что хлоридные кальциево-натриевые рассолы Челекена и Калифорнии распространены в бессолевых терригенных осадочных и метаморфических породах.

В 1970 г. в штате Техас близ пункта Снайдер возведен магниевый завод для переработки подземного рассола, залегающего на глубине 490 м. Содержание хлористого магния в рассоле достигает 11% (в морской воде лишь 0,25%), что рассматривалось как благоприятный фактор для относительно низкой себестоимости продукции. В 1971 г. намечалось получить 28 тыс. т магния. В США добывается уран из шахтных вод, а вольфрам из вод с концентрацией металла до 60 мг/л. Приведенными сведениями, включая данные о добыче хлористого натрия, йода и брома, ограничивается имеющаяся информация о практическом использовании подземных промышленных вод в США. Они рассматриваются так же, как потенциальное сырье на цезий, рубидий, стронций и др. Основная же масса перерабатываемого гидротермального сырья в этой стране представлена рассолами озер Серлс, Силвер-Пик, Бонвилл и др. Данные об эксплуатации этих озер есть в литературе; здесь они приводятся только в табл. 5.4, чтобы подчеркнуть ограниченность использования именно подземных вод.

Однако такая ситуация — временное явление. Промышленное значение «жидких руд» все более возрастает. Об этом свидетельствуют многочисленные данные о технологических исследованиях в области комплексной переработки гидроминерального сырья в США, Англии, Франции, ФРГ, Италии, Японии и других странах, где предложен ряд защищенных патентами способов извлечения наиболее распространенных в водах металлов и соединений. Следует ожидать, что промышленная переработка подземных вод со временем примет массовый характер. Главные предпо-

Таблица 5.4

Примеры эксплуатируемых зарубежных месторождений гидроминерального сырья [Жлименко и др., 1981]

Месторождение	Тип вод	Концентрация редких элементов, г/т	Запасы, млн. т	Производство химических соединений, тыс. т/год
оз. Серлс (США)	Карбонатный	Rb 1	0,001	Не производится
		Li 40	0,038	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 1,1
		Br 850	0,808	Нет данных
		J 29	0,028	» »
		B 3 500	5,5	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O 200
		W 55	0,053	Не производится
		K 27 000	26	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 50
оз. Силвер-Пик (США)	Хлоридный	Li 400	3,47	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> 8
		Br 860	7,49	Нет данных
		K 8 200	71,03	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 218
		Mg 400	3,47	MgCl <sub>2</sub> 455
Большое соленое озеро (США)	Сульфатный	Li 60	0,86	LiCl 0,45
		Mg 8 000	157,5	MgCl <sub>2</sub> 363
		K 4 000	97,5	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 41
Тосканские парогидротермальные месторождения (Италия)	Кислотный	B 1 200	Нет данных	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub> 34,4
		NH <sub>3</sub> 7 200		Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> ·10H <sub>2</sub> O 5,0
Мертвое море	Хлоридный	Li 18	17,5	Не производится
		Br 4 300	4200	Br 13
		Rb 6	57,5	Не производится
		K	1080	KCl 1000 K <sub>2</sub> O 492

ссылки к этому — широчайшее распространение в природе подземных и поверхностных вод соответствующего состава на территории большинства государств и однозначное ныне убеждение в необходимости их освоения. Весьма показателен в этом отношении литий. Совсем недавно 97% его перспективных запасов в зарубежных странах приходилось на гранитные пегматиты. Однако к 1975 г. в результате пересмотра источников сырья доля лития в подземных и озерных водах оценивалась уже в 65% от общих запасов. Более того, в последние годы в США, по данным Горного Бюро, доля запасов лития в рассолах определилась в 85,6% от общих запасов, а добыча карбоната лития из рапы оз. Силвер-Пик составляла в 1970 г. 8000 т, или 25% от общего производства в стране этого соединения [Балашов и др., 1975, 1981]. Подобная переоценка запасов может произойти также в отношении рубидия и цезия. По подсчетам Н. А. Солодова и др. [1980], в природных водах сосредоточено соответственно 40 и 35% мировых запасов этих элементов.

Ценность промышленных вод заключается не только в огромных запасах, широкой встречаемости и поликомпонентном составе. Весьма важно, что подземные воды можно добывать на больших площадях одним водозабором и с глубин, доступных только скважинам. Их получение не сопровождается дорогостоящими и нежелательными в природоохранном отношении горными работами, как при разработке твердых полезных ископаемых. Особое преимущество перед последними состоит в возможности обогащения промышленных вод путем их испарительного концентрирования и в том, что воды как источник минерального сырья очень часто не требуют специальной добычи; возможно использование техногенных вод.

В свою очередь, в современных экологических условиях переработка жидких отходов различных производств, особенно связанных с добычей полезных ископаемых, является вынужденной и актуальнейшей проблемой, в процессе решения которой изучаются многие вопросы освоения гидроминерального сырья.

## ЛИТЕРАТУРА

Балашов Л. С., Бондаренко С. С., Галицын М. С. и др. Современное состояние и научные аспекты развития минерально-сырьевого направления в гидрогеологии. М.: изд. ВСЕГИНГЕО, 1975, с. 20—28.

Балашов Л. С., Бондаренко С. С., Ефремочкин Н. В. и др. Перспективы использования подземных промышленных вод СССР.— Сов. геология, 1981, № 5, с. 3—9.

Бойко Т. Ф. Металлоносность поверхностных вод и рассолов. М.: Наука, 1969. 120 с.

Бондаренко С. С., Боровский Л. В., Всеволожский В. А. и др. Ресурсы подземных вод Сибири и Дальнего Востока.— Геол. и геофиз., 1972, № 3, с. 28—37.

Голева Г. А., Торикова М. В., Алексинская Л. Н., Солодов Н. А. Закономерности распространения и формирования металлоносных рассолов. М.: Недра, 1981. 264 с.

Дворов В. И. Термальные воды Челекена и геохимические особенности их формирования. М.: Наука, 1975. 180 с.

Дудко П. М., Лехтимяки Э. В. Добыча рассолов выщелачиванием каменной соли через буровые скважины.— В кн.: Гидрогеология соляных месторождений и вопросы подземного выщелачивания соляных залежей. Л.: Недра, 1967, с. 164—187.

Зайцев И. К., Толстихин Н. И. Закономерности распространения и формирования минеральных (промышленных и лечебных) подземных вод на территории СССР. М.: Недра, 1972. 280 с.

Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод (Методическое пособие)/Под ред. С. С. Бондаренко и Н. В. Ефремочкина. М.: Недра, 1971. 243 с.

Клименко И. А., Медведев С. А., Медведев Ст. А., Попов В. М. Состояние и перспективы комплексной утилизации ценных компонентов природных и техногенных минерализованных вод. (Обзор ВИЭМС). М., 1981. 34 с.

Коган Б. И., Названова В. А. Промышленное использование континентальных минерализованных вод за рубежом.— Редкие элементы. Сырье и экономика, 1974, вып. 10, с. 4—117.

Коган Б. И., Названова В. А. Еще о промышленном и комплексном использовании природных минерализованных вод.— Редкие элементы. Сырье и экономика, 1979, вып. 15, с. 33—42.

Коган Б. И. Редкие металлы. М.: Наука, 1979. 356 с.

Крайнов С. Р., Швец В. М. Основы геохимии подземных вод. М.: Недра, 1980. 285 с.

Кудельский А. В. Гидрогеология, гидрогеохимия йода. Минск: Наука и техника, 1976. 216 с.

Лебедев Л. М. Современные рудообразующие гидротермы. М.: Недра, 1975. 261 с.  
Маринов Н. А. Жидкие руды Земли.— Геология рудных месторождений, 1980, № 6, с. 79—86.

Методические рекомендации по геохимической оценке и картированию подземных редкометалльных вод/Балашов Л. С., Бондаренко С. С., Галицын М. С., Ефремочкин Н. В. М., 1977. 86 с.

Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология/Ред. Е. В. Пиннекер. Новосибирск: Наука, 1980. 225 с.

Пиннекер Е. В. Рассолы Аягаро-Левского артезианского бассейна. М.: Наука, 1966. 332 с.

Пиннекер Е. В., Борисов В. Н. Бромосные рассолы бассейна р. Нижней Тунгуски (в пределах Тунгусской синеклизы).— В кн.: Очерки по гидрогеологии Сибири. Новосибирск: Наука, 1973, с. 65—85.

Плотников Н. А. Подземные подбромные воды и их месторождения.— Труды МГРИ, 1958, т. XXXV, с. 17—40.

Посохов Е. В., Толстихин Н. И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). Л.: Недра, 1977. 240 с.

Сидоренко А. В. Геология в 2000 году.— В кн.: Проблемы минерального сырья. М.: Наука, 1975, с. 29—38.

Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1981, с. 1952.

Современное гидротермальное рудоотложение. М.: Мир, 1974. 280 с.

Солодов Н. А., Балашов Л. С., Кременецкий А. А. Геохимия лития, рубидия и цезия. М.: Недра, 1980. 223 с.

White D. E. Environment of generation of some base metal ore deposits.— Econ. Geol., 1968, V. 63, N 4, p. 301—335.

## 6. ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ И ИХ ТЕРМОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

### 6.1. КЛАССИФИКАЦИИ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНОГО ТЕПЛА

Тепло, образующееся естественным путем в недрах Земли, представляет собой один из видов нетрадиционной энергии. Его называют геотермальными ресурсами (табл. 6.1), подразделяя на ресурсы гидрогеотермальные (тепло внутриземных вод) и петрогеотермальные (тепло горных пород). Здесь речь пойдет только о гидрогеотермальных ресурсах, используемых для термоэнергетических целей,— термальных водах \*, пароводяной смеси (парогидротермах) и сухом паре [Общая гидрогеология, 1980; Временные правила..., 1980], поскольку именно они используются сейчас и будут использоваться в обозримом будущем для получения подземного тепла. Освоение же петрогеотермальных ресурсов находится в самой начальной стадии \*\*, и поэтому мы ограничимся общей схемой их возможного использования (рис. 6.1).

Помимо разделения гидрогеотермальных ресурсов на термальные воды, пароводяную смесь и сухой пар существуют и другие подразделения [Сугробов, 1979; White, 1969, Mahon, 1973]. Приведем в качестве примера классификацию гидрогеотермальных систем А. Г. Трусдела [Truesdell, 1976], различающего четыре их типа: 1) вулканические гидрогеотермаль-

\* Нижней температурной границей термальных вод до недавнего времени считался в одних странах (СССР, ФРГ, ГДР, ПНР, Австрия и т. д.) предел в 20°C, в других — 25°C (ЧССР, Япония) и, наконец, в третьих (США, Канада, государства Африки и Юго-Восточной Азии) — температура, которая на 3—6°C выше среднегодовой. Однако сейчас как в СССР [Посохов, Толстихин, 1977; Временные правила..., 1980], так и за рубежом [Balogh, Bököfi, 1976] склоняются к тому, чтобы к термальным отнести воды с температурой более 35°C.

\*\* Экспериментальные исследования в этом плане ведутся, например, у нас в Грозном и в США, где на опытном полигоне близ Лос-Аламоса планируется строительство электростанции мощностью до 100 МВт, источником энергии которой станет вода, закачиваемая в недра земли и нагретая там до 200—250° [Берман, 1978].

Классификационная схема геотермальных ресурсов (по Б. Ф. Маврицкому)

Тип ресурсов	Класс по температуре, °С	Вид по условиям распространения		Характеристика ресурсов	Примерные глубины залегания, м	Районы распространения
Гидрогеотермальные	Свыше 100	Локальные		Пары и пароводяные смеси	300—1000	Современного вулканизма
		Пластовые		Пароводяные смеси	3000—3500	Эпипалеозойские плиты и межгорные впадины, выполненные мезозойскими и кайнозойскими отложениями
	До 100 *	Локальные		Термальные воды	200—500	Складчатые системы областей неотектонической активизации
		Пластовые		Термальные воды	1500—3000	Эпипалеозойские плиты и межгорные впадины, выполненные мезозойскими и кайнозойскими отложениями.
Петрогеотермальные	Свыше 100	Локальные	Магматических очагов	Тепло горных пород снимается путем закачки в циркуляционную систему скважин холодной поверхностной воды	До 3000—5000	Современного вулканизма
			Термоаномалий		До 2000	
		Региональные			3000—5000	Складчатые системы альпийской складчатости
	До 100 *	Локальные	Региональные		До 2000	Складчатые системы областей неотектонической активизации
					2000—5000	Складчатые системы от мезозойской до байкальской складчатости, не испытавшие влияния неотектонических движений

\* За нижний предел принята температура воды в пластовых условиях 40°С.

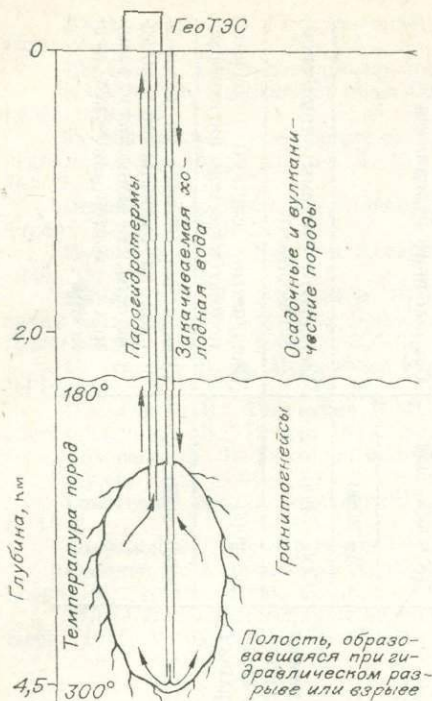


Рис. 6.1. Принципиальная схема использования петрогеотермальных ресурсов путем закачки холодных вод в искусственные емкости с последующим извлечением парогидротерм.

ные и парогазовые; 2) невулканические гидрогеотермальные, 3) субмаринные и 4) промежуточные. В зависимости от температуры на устье скважины говорят о горячих ( $35-70^\circ$ ), высокотермальных ( $75-100^\circ$ ) и перегретых (более  $100^\circ$ ) водах.

Как показано [Основы гидрогеологии. Теоретические основы и методы гидрогеологических исследований, 1984], в геологическом отношении месторождения термальных вод подразделяются на пластовые и трещинно-жильные. По величине теплопроизводительности (и дебиту скважин) различают месторождения малые — менее 10 Гкал/ч ( $< 1000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ), средние — от 10 до 50 Гкал/ч (от 1000 до  $3000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ) и большие — более 50 Гкал/ч ( $> 3000 \text{ м}^3/\text{сут}$ ). Месторождениями сверх-

высокой теплопроизводительности считаются такие, которые производят тепла свыше 100 Гкал/ч [Временные правила..., 1980].

Целесообразность освоения гидрогеотермальных месторождений зависит прежде всего от хозяйственного назначения добываемого сырья и экономического эффекта, получаемого по сравнению с другими видами топлива. Термоэнергетическое назначение гидрогеотермальных ресурсов самое разнообразное: электроэнергетика, коммунально-бытовые нужды, сельское хозяйство и т. д. Геолого-экономические показатели рентабельности эксплуатации месторождений пароводяной смеси и термальных вод при сроке не менее 25 лет для различного целевого использования показаны в табл. 6.2.

Большую роль при оценке пригодности воды или пара для термоэнергетических целей играют температура, минерализация, концентрация водородных ионов (рН), наличие в составе токсических элементов и т. д. Роль температуры и минерализации хорошо видна из табл. 6.2: выбор сферы применения гидрогеотермальных ресурсов зависит от этих параметров. Например, для выработки электроэнергии наиболее подходит раствор с температурой более  $180^\circ$  и содержанием солей не выше 5 г/л, желательна наличие «нейтрального» рН (с целью уменьшения коррозии трубопроводов) и минимума токсичных веществ (чтобы отработанные воды не загрязняли поверхностные водотоки). Определенные требования предъявляются к производительности водозаборов, напору и глубине водоносных горизонтов и зон [Ресурсы..., 1975].

Строгих критериев или кондиций для разделения термальных вод по использованию не существует и, по-видимому, не может быть из-за разнообразия условий их распространения.

## 6.2. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Гидрогеотермальные ресурсы имеют широкое, хотя и локализованное распространение в недрах земли. В одних местах тепловому потоку свойственны повышенная температура, например, в вулканических областях или рифтовых зонах, в других — температура даже пониженная,

Предельные показатели возможности использования гидрогеотермальных ресурсов (по В. И. Кононову)

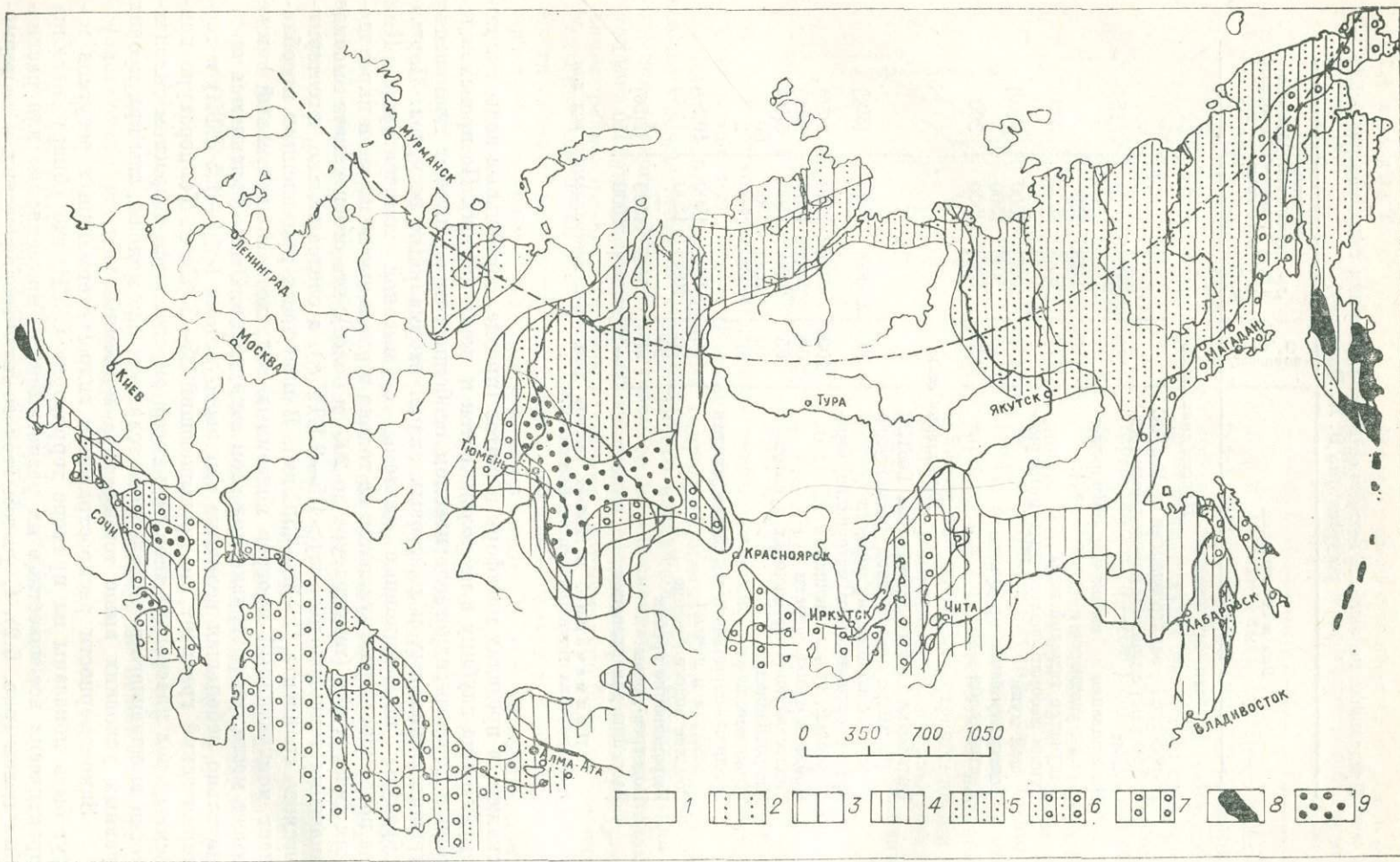
Вид использования	Температура, °С	Дебит, м <sup>3</sup> /сут	Глубина залегания водоносного горизонта	Минерализация, г/л
<i>Пароводяная смесь</i>				
Выработка электроэнергии ГеоТЭС (10 мВт) с прямым пароводяным циклом	180	10 000	3000	15
Выпаривание высококонцентрированных растворов	170	500	2500	
Получение тяжелой воды	170	500	2500	300
Сушка лесоматериалов, диатомита, рыбной муки	160	1000	2500	2(50)
Консервирование продуктов	140	500	1500	2
Дистилляция воды	120	500	2500	300
<i>Термальные воды</i>				
Выработка электроэнергии на ГеоТЭС (10 мВт) с применением промежуточных низкокипящих веществ	80	20 000	2500	(300)
Сушка органических материалов, водорослей, травы, овощей	100	500	1500	2(50)
Мойка и сушка шерсти	100	500	1500	2(50)
Теплоснабжение населенных пунктов	65	1000	2500	5(50)
Хладоснабжение	70	500	1500	50
Животноводство	45	500	1500	2
Теплично-парниковое хозяйство (обогрев воздуха и почвы)	60	500	1500	10(50)
Горячее водоснабжение	50	1000	1500	1(50)
Выращивание грибов	50	—	—	2
Подогрев почвы	40	500	1500	2(50)
Бассейны для плавания	30—35	250	1000	50

Примечание. В скобках указана допустимая минерализация вод для геотермальных установок с теплообменником.

скажем, в пределах платформ и щитов (правда, термальные воды тут погружены на глубину в несколько сотен и тысяч метров). По происхождению и геолого-гидрогеологическим особенностям различают проявления трещинно-жильных и пластовых гидрогеотермальных ресурсов. Первые образуют конвекционные системы с высокой температурой. Они на поверхности разгружаются не только термальные воды, но и пароводяная смесь и пар (температура до 200° и более), что обеспечивает высокие значения теплового потока (> 1,5—2 ЕТП \*), а следовательно, и геотермического градиента (> 35—45°С/км). В пластовых проявлениях преобладает кондуктивный прогрев подземных вод, хотя конвективный также имеет место, но разгрузка при этом затруднена. Этим объясняются сравнительно небольшая величина теплового потока (< 1—1,5 ЕТП) и геотермический градиент, не превышающий 25—33°С/км. Температура подземных вод пластового типа во многом определяется возрастом складчатости вмещающего геологического тела: чем она моложе, тем при прочих равных условиях выше температура подземных вод.

Закономерности распространения гидрогеотермальных ресурсов могут быть показаны на примере территории СССР, где обнаруживаются практически все известные их разновидности, применяемые для различных целей (рис. 6.2). С учетом геолого-гидрогеологических и геотермических показателей территория СССР делится на девять регионов, разли-

\* ЕТП — единица теплового потока — принятое сокращенное наименование 1 м·кал/см<sup>2</sup>·с = 41,8 МВт/м<sup>2</sup>.



Прогнозные запасы термальных вод и парогидротерм трещинно-жильного типа по гидрогеологическим районам СССР (по Б. Ф. Маврицкому)

Район	Запасы, м <sup>3</sup> /с	Минерализация, г/л	Предполагаемая температура воды на устье, °С	Прогнозные запасы тепла (при η геот.=0,5), млн. Гкал/год	Прогнозная мощность электростанций, мВт
Камчатская складчатая зона	1	1—2	40—60	1,5	—
	1	1—3	60—100	2,5	—
	4 (т/с)	3—5	130—200	—	До 300—400
Курильская складчатая зона	1	1—3	40—100	2,2	—
	1 (т/с)	3—10	130—200	—	До 60—80
Чукотско-Катазиатский вулканогенный пояс (в том числе Анойско-Чукотская складчатая зона, Забайкалье и Приамурье)	0,5	1—20	40—90	0,6	—
Байкальская рифтовая зона	1	1—2	40—80	1,6	—
Саянская и Алтайская складчатые зоны	0,1	1—2	40—80	0,15	—
Складчатые зоны Тянь-Шаня и Памира	1	1—2	40—100	1,0	—
Складчатые зоны Большого и Малого Кавказа и Талыша	1	1—20	40—70	1,5	—
Всего термальных вод . . . . .	6,6				
Всего пароводяной смеси . . . . .	5,0 (т/с)				

чающихся перспективами использования гидрогеотермальных ресурсов [Макаренко, Кононов, 1973; Кононов, 1982]:

1. Площади современного вулканизма и кайнозойского орогенеза — Камчатка, Курилы и частично Кавказ — характеризуются самыми высокими значениями теплового потока (2—3 ЕТП и более). Наибольший практический интерес имеют гидротермальные системы гейзерного типа с температурой до 250° на глубине первых сотен метров. Только на Камчатке вблизи действующих вулканов известно десять месторождений парогидротерм (Паужетское, Кошелевское, Больше-Банное, Мутновское, Узонское и др.), пригодных для сооружения ГеоТЭС. Есть они и на Курилах (Горячий пляж и др.). Ими и многочисленными источниками (более 100 групп) выводится 5 т/с пароводяной смеси и примерно 3 м<sup>3</sup>/с термальных вод (табл. 6.3) хлоридного натриевого состава с азотно-углекислыми газами.

Вне связи с современной вулканической деятельностью формируются азотные и углекислые термы разнообразного состава и минерализации. Их температура в трещинно-жильных и пластовых скоплениях Закавказья и Северного Кавказа превышает местами 100°С, а дебит отдельных групп источников или скважин достигает нескольких десятков литров в секунду.

Рис. 6.2. Схема перспективного использования термальных вод для народного хозяйства [Макаренко, Кононов, 1973].

1 — территории, где использование термальных вод при современном уровне техники экономически невыгодно (на отдельных участках могут быть использованы термальные воды, извлеченные попутно при глубоком бурении на нефть и газ); 2 — территории возможного использования термальных вод в бассейнах и душевых павильонах, для обогрева грунта и оттаивания мерзлых пород; 3 — то же, а также для теплого орошения; 4 — то же, что 2 и 3, а также для горячего водоснабжения и в теплично-парниковых хозяйствах; 5 — то же, что 2—4, но тепловое орошение, горячее водоснабжение и применение в теплично-парниковых хозяйствах проводятся лишь с применением теплообменников; 6 — то же, что 2—4, а также для теплоснабжения населенных пунктов, холодоснабжения и выработки электроэнергии на ГеоТЭС с применением промежуточных низкокипящих веществ; 7 — то же, что 2—6, но с применением теплообменников; 8 — территории, на которых возможны все виды использования термальных вод, включая ГеоТЭС с прямым пароводяным циклом; 9 — то же, с применением теплообменников.

2. Горные сооружения кайнозойских миогеосинклиналей и кайнозойской тектоно-магматической активизации — большая часть Кавказа, Чукотка, Байкальский рифт, Памир, Тянь-Шань, Копет-Даг и т. д. — имеют фоновый тепловой поток 1,8—2,4 ЕТП. В рифтовых зонах и на участках тектонического дробления за счет повышенного теплового потока формируются углекислые и азотные термы пестрого ионно-солевого состава с температурой на выходе ниже точки кипения. Температура выше 100° отмечается обычно на глубине в несколько километров. Известен лишь один случай (источники Ходжа-Оби-Гарм на Тянь-Шане) выхода на поверхность пароводяной смеси. Дебит отдельных источников достигает 20—50 л/с (Елису и Халтинские на Кавказе, Чаплинские на Чукотке, Аллинские и Питателевские в Прибайкалье и т. д.).

3. Кайнозойские краевые прогибы и неотектонические впадины — Предкавказье и Закавказье, Средняя Азия, Прибайкалье — образуют многопластовые емкости преимущественно метановых терм хлоридного или гидрокарбонатного натриевого состава с минерализацией, увеличивающейся с глубиной, от пресных до рассольных. Тепловой поток в среднем составляет 1 ЕТП, а геотермический градиент от 25 до 35°С/км. Скважины вскрывают воду с температурой около 100° на глубине примерно 3 км.

4. Мезозойские складчатые сооружения представлены метаморфизованными толщами, которые прорваны интрузиями. Средние значения теплового потока 1,4—1,8 ЕТП. Изотерма 100° находится обычно на глубине 1,5—2 км и более. На Северо-Востоке СССР (Верхоянская и Колымская горные страны) эти сооружения заморожены на глубину до 500 м, но ниже встречаются термальные воды. Изученность пока плохая.

5. Мезозойские прогибы и впадины — Приверхоянский прогиб, Забайкалье, юг Дальнего Востока — характеризуются значениями теплового потока от 1,1 до 1,5 ЕТП. Изотерма 100° опускается на глубину 3—4 км. Это многопластовые водоносные системы, температура воды которых достигает 50—75° на глубине 2—2,5 км. В гидрогеологическом отношении они изучены слабо.

6. Палеозойские складчатые сооружения — Урал, Центральный Казахстан, Алтай — отличаются низкими значениями теплового потока (0,7—1,3 ЕТП), поэтому они не перспективны на термальные воды.

7. Эпипалеозойские плиты (Скифская, Туранская, Западно-Сибирская) образуют громадные емкости термальных вод. При средних значениях теплового потока 1,25—1,35 ЕТП из-за низкой теплопроводности пород в осадочном чехле создаются благоприятные условия для формирования горизонтов термальных вод, температура которых быстро возрастает к фундаменту: на глубине 3—5 км она достигает 125—150°. Это преимущественно метановые соленые воды и рассолы хлоридного натриевого состава. Ресурсы таких гидрогеотермальных систем весьма велики, а производительность отдельных скважин нередко превышает 20 л/с.

8. Кристаллические щиты (Балтийский, Украинский и др.) выделяются самыми низкими значениями теплового потока (0,9 ЕТП) и геотермического градиента (10°С/км). Они наименее перспективны на термальные воды.

9. Чехлы древних платформ (Русской и Сибирской) из-за пониженных значений теплового потока (1 ЕТП) и геотермического градиента (15—25°С/км) отличаются невысоким тепловым потенциалом: на глубине 3 км температура колеблется от 50 до 90°. Термальные воды, как правило, имеют минерализацию более 300 г/л и хлоридный натриевый или кальциевый состав, что затрудняет их использование в термоэнергетических целях.

Сделанный обзор показывает, что в СССР гидрогеотермальные ресурсы, пригодные для практического использования, т. е. с высоким тепловым потенциалом и значительным дебитом, приурочены к вулканическим областям, регионам кайнозойской тектоно-магматической активизации и эпипалеозойским плитам. Для этих подземных водоносных систем Б. Ф. Маврицкий [1976] сделал прогнозную оценку гидрогеотермальных ресурсов для трещинно-жильного (табл. 6.3) и пластового (табл. 6.4)

## Прогнозные запасы термальных вод пластового типа по отдельным районам СССР (по Б. Ф. Маврицкому)

Район	Водоносный комплекс	Запасы, м <sup>3</sup> /с	Температура термальных вод, °С	Запасы тепла, млн. Гкал/год (при η геот. = 0,5)
Западно-Сибирская артезианская область южнее 58° с. ш.	Апт-альб-сеноманский, неокомский	100	40—50	95,0
		20	40—70	—
	севернее 58° с. ш.	Апт-альб-сеноманский, неокомский	50	35—50
		8	40—70	—
Туранская артезианская область	Меловой	19,5	35—70	13,9
Скифская артезианская область Равнинный Крым Западное Предкавказье	Меловой	2	40—70	1,5
	Меловой, палеогеновый, неогеновый	6	40—100	5,5
	То же	9	40—100	10,0
	Меловой, палеогеновый	3	40—90	3,0
Восточное Предкавказье Центральное Предкавказье	Меловой	2	40—100	3,5
		3	40—70	2,0
		0,5	40—60	0,4
		2	40—70	1,5
		2	40—100	2,5
		1	40—70	1,0
Артезианские бассейны межгорных впадин: Рионский Куринский и Кусато-Девичинский Таджикский Ферганский	Меловой, палеогеновый, неогеновый	2	40—100	2,5
		1	40—70	1,0
Джаркентский Баргузинский, Селенгинский, Тункинский	В основном неогеновый	3	40—70	2,5
Бассейны о. Сахалин				
Всего . . . . .		232	40—100	188

типов. Кроме упомянутых запасов в 5 т/с пароводяной смеси (см. табл. 6.3), это почти 240 м<sup>3</sup>/с термальных вод. Цифры огромные: они соответствуют 200 млн. Гкал/год тепла. Разведанные же запасы в СССР составляют всего 2 м<sup>3</sup>/с [Ресурсы..., 1975], что свидетельствует о начальной стадии освоения выявленных ресурсов термальных вод.

Интересно распределение ресурсов: доля термальных вод трещинно-жильного типа составляет около 3%, а вместе с пароводяной смесью 5%; остальные 95% приходится на пластовые термальные воды. Самым большим резервуаром термальных вод является Западно-Сибирский сложный артезианский бассейн, который содержит 178 м<sup>3</sup>/с термальных вод, т. е. 75% общих ресурсов СССР.

За рубежом гидрогеотермальные ресурсы наиболее велики в странах Тихоокеанского вулканического «кольца» (Япония, Филиппины, Новая Зеландия, США, Мексика и другие государства Латинской Америки), рифтовых зон (Исландия, Эфиопия, Танзания, Кения) и альпийского складчатого пояса (Италия, Франция, Испания, Югославия, Венгрия, Болгария, Греция, Турция, Иран, Пакистан, Индия, Китай, Бирма, Индонезия). В перечисленных странах встречаются как проявления термальных вод, так и месторождения пара и парогидротерм [Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология, рис. 6.25]. Значительные скопления термальных вод пластового типа содержат артезианские бассейны Африки и Австралии.

Использование подземных вод и пароводяной смеси в термоэнергетических целях, как мы видели (см. табл. 6.2), самое различное, но ориентировано преимущественно на три отрасли хозяйства: 1) электроэнергетику, 2) коммунально-бытовые и промышленные нужды и 3) сельское хозяйство.

### 6.3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Для производства электроэнергии применяются так называемые высокопотенциальные ресурсы: пароводяную смесь или сухой пар. Возможно также использование термальных вод, но тогда необходимы двухконтурные установки с теплообменником, в котором применяют низкокипящие жидкости (фреон, изобутан и т. п.).

Гидрогеотермальные ресурсы — самое дешевое «сырье» электрических станций. Стоимость электроэнергии на геотермальных теплоэлектростанциях обходится в 2—5 раз дешевле, чем на дизельных или угольных. И все же их эксплуатация занимает в мировом балансе ничтожное место, хотя число ГеоТЭС ежегодно растет — они уже имеются в 11 странах и примерно в 12 сооружаются.

В Советском Союзе месторождения гидрогеотермальных ресурсов, пригодные для получения электроэнергии, располагаются преимущественно в Камчатско-Курильской вулканической зоне (рис. 6.3).

Построенная в 1967 г. на базе Паужетского месторождения ГеоТЭС использует пароводяную смесь температурой 150—250°C. Первоначальная мощность ее составляла 5 МВт, к 1981 г. она увеличилась более чем в два раза, в перспективе мощность станции предполагается довести до 25 МВт. Потенциальные возможности месторождения оцениваются в 300—500 МВт.

Некоторое время функционировала небольшая (0,75 МВт) опытная ГеоТЭС с фреоновым теплообменником на базе Паратунского месторождения термальных вод, позже законсервированная. Заканчивается разведка

месторождения парогидротерм у Мутновского вулкана, где намечается строительство ГеоТЭС мощностью 200 МВт для обеспечения электроэнергией г. Петропавловска-Камчатского.

В отдаленной перспективе планируются ГеоТЭС на базе Кошелевского месторождения термальных вод (пароводяная смесь и пар) мощностью 75 МВт, Больше-Банного (пароводяная смесь) мощностью 25 МВт, Узонского (пароводяная смесь) мощностью 35 МВт, Киреунского (пароводяная смесь) мощностью 10 МВт и в Южнокурильске на о. Кунашир мощностью до 12 МВт.



Рис. 6.3. Схема распределения и использования гидрогеотермальных систем Камчатки (по В. М. Сугробову).

1 — основные вулканы; 2 — граница зоны теплового потока и его среднее значение; I — Корякско-Камчатская геосинклиналиальная зона (1,3 ЕТП); II — Центрально-Камчатский вулканический пояс (1,5 ЕТП); III — Средний массив (2,2 ЕТП); IV — Восточно-Камчатская геосинклиналиальная зона (1,0 ЕТП); 3 — гидротермальные районы: А — Паужетский, Б — Мутновский, В — Паратунский, Г — Семьячский, Д — Киреунский; 4 — ГеоТЭС; 5 — гидротермальные системы.

Дальнейшее развитие электроэнергетики Камчатско-Курильской зоны возможно за счет тепла горных пород. Как подсчитал В. М. Сугробов [1979], петрогеотермальные ресурсы здесь в 10-километровом слое при коэффициенте извлекаемости тепловой энергии 10% оцениваются в  $120\,000 \times 10^{18}$  кал, что эквивалентно  $17\,000\,000 \cdot 10^6$  т у. т.; то же нагретых пород гидрогеотермальных систем —  $26 \cdot 10^{18}$  кал (эквивалентно  $328 \cdot 10^6$  т у. т., или мощности ГеоТЭС в 3050 МВт); то же из магматических очагов —  $200 \cdot 10^{18}$  кал (эквивалентно  $2850 \cdot 10^6$  т у. т., или мощности ГеоТЭС в 2650 МВт).

На геотермальную электроэнергию перспективны Кавказ, Западная Сибирь, Карпаты (см. рис. 6.2). Например, вблизи районного центра Тарумовка (Дагестан) в отложениях мезозоя на глубине 4500—5000 м открыто месторождение пароводяной смеси, имеющей температуру 220—240°C в пласте и 160°C на устье скважины. Дебит последней достигает 12 тыс. м<sup>3</sup>/сут при избыточном давлении на устье 30 ат. А. Г. Гаджиев [1979] считает, что на базе этого месторождения может быть построена ГеоТЭС мощностью до 500 МВт. Высокой температурой отличаются и другие площади Дагестана: гидрогеотермическими аномалиями являются Буйнакский артезианский бассейн, Восточная и Западная антиклинальные зоны с участками Берикей, Дзулак, Дагогни, Каякент и др., ряд аномалий с температурой воды 200—240°C на глубине 5000—5500 м выявлен в «платформенном» Дагестане (Сухокумская группа и др.). Расчеты показали, что на таких участках можно построить ГеоТЭС мощностью 200—500 МВт [Курбанов и др., 1979].

Перспективна на ресурсы подземного тепла территория Закавказья. По мнению И. М. Буачидзе и др. [Геотермические условия..., 1980], наиболее благоприятны для этого высокодебитные и слабоминерализованные пароводяные смеси, обнаруженные на площадях Охурей и Киндга.

В 1981—1985 гг., согласно плану развития геотермальной энергетики в СССР, будут созданы циркуляционные системы для обеспечения эффективной работы трех опытных ГеоТЭС — в Дагестане, Ставропольском крае и Закарпатье по 10 МВт каждая.

**Европа.** Значительны гидрогеотермальные ресурсы для выработки электроэнергии в Исландии и Италии.

В Исландии они оцениваются в 10000 МВт; большей частью это парогидротермы, вскрываемые на глубине 800—1000 м и обладающие температурой от 200 до 300°C. На базе этих ресурсов в стране построены две ГеоТЭС мощностью около 60 МВт: одна небольшая ГеоТЭС с турбиной без конденсатора несколько лет работает в Наумафьядле, другую мощную станцию (55 МВт) соорудили в 1977 г. на месторождении Крабле, однако извержение вулкана Лейрхцукур осложнило ее работу (в гидрогеотермальную систему внедрилось магматическое тело) и она вырабатывает только 11,5 МВт электроэнергии.

Славится своими ресурсами подземного тепла и Италия — пионер геотермальной электроэнергетики. Здесь в 1904 г. в небольшой деревушке Лардерелло (провинция Тоскана) построена турбина, работавшая на паре и производившая электроэнергию, а в 1914 г. пущена в эксплуатацию первая в мире ГеоТЭС. К этой же гидрогеотермальной системе Лардерелло принадлежат хорошо изученные гидрогеотермальные поля, где к 1980 г. действовали 13 ГеоТЭС, имеющих в сумме мощность 380 МВт; к 1985 г. выработка достигнет 480 МВт. Несколько небольших станций есть в Монте-Амиата и Травале, а одна небольшая — на о. Ишия (табл. 6.5). В ближайшие годы намечено построить ГеоТЭС на Флегрейских полях (20 МВт) и месторождении Альфина (15 МВт).

Планируют выработку электроэнергии из подземного тепла Греция (о. Милос) и Португалия (на Азорских островах).

**Азия** обладает колоссальными гидрогеотермальными ресурсами, но они пока слабо осваиваются. Исключение представляют разве что Япония и Филиппины.

## Эксплуатируемые ГеоТЭС (по данным зарубежных и советских авторов на 1980 г.)

Гидротермальная система	Средняя (максимальная) глубина скважин, м	Средняя (максимальная) температура, °С	Тип ресурсов	Состав газа в H <sub>2</sub> O	Минерализация, г/л	Общая мощность, МВт
<i>США</i>						
Гейзеры Сонома	1500(3420)	250(285)	Пар	(CO <sub>2</sub> — H <sub>2</sub> ) SO <sub>4</sub> — Na	1,3	900
Империал Валли	1500(2470)	300(360)	Пвс	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	260	10
Прочие ГеоТЭС	—	—	—	Cl — Na	—	70
<i>Италия</i>						
Лардерелло	650(1600)	170—220(240)	Пар	(CO <sub>2</sub> ) SO <sub>4</sub> — Na	0,5	380
Монте Амиаго	780(1500)	140—170(190)	»	(CO <sub>2</sub> ) SO <sub>4</sub> — Na, NH <sub>3</sub>	1,0	25
Тревалле	690(1370)	200(264)	»	(CO <sub>2</sub> ) SO <sub>4</sub> — Na	1,0	18
Ишиа	—	175	Пвс	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	20	0,5
<i>Филиппины</i>						
Тиви	950(2300)	250	»	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	5,0	220
Две ГеоТЭС	—	—	—	—	—	170
<i>Новая Зеландия</i>						
Вайракей	800(2300)	230(260)	Пвс	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	4,6	192
Каверау	800(1250)	250(285)	»	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	3,0	10
Бродлендс	1100(2420)	255(300)	»	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	4,1	120
<i>Мексика</i>						
Серро Прието	1300(2630)	300(388)	»	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	27,6	150
Пага	(530)	175	»	(CO <sub>2</sub> ) Cl — Na	—	3,6
<i>Сальвадор</i>						
Ахуачапан	100(1400)	230(250)	»	(CO <sub>2</sub> — H <sub>2</sub> ) Cl — Na	19,3	90
<i>Япония</i>						
Мацукава	1000(1500)	220(280)	Пар	(H <sub>2</sub> S — CO <sub>2</sub> ) SO <sub>4</sub> — Na, Fe	0,8	22
Отаке	500(900)	230(250)	Пвс	(CO <sub>2</sub> — N <sub>2</sub> ) Cl — Na	3,1	11
Хатчобару	500(800)	250(300)	»	(CO <sub>2</sub> — N <sub>2</sub> ) Cl — Na	3	50
Оникабе	1000(1350)	230(288)	»	(CO <sub>2</sub> — N <sub>2</sub> ) Cl — Na	1,5	25
Онума	800(1700)	200	»	(CO <sub>2</sub> — N <sub>2</sub> ) Cl — Na	3	10
Коконда	—	200	»	(CO <sub>2</sub> — N <sub>2</sub> ) Cl — Na	2	50
<i>Исландия</i>						
Наумафьядль	1000(1400)	250(289)	»	(H <sub>2</sub> — CO <sub>2</sub> ) HCO <sub>3</sub> — —SO <sub>4</sub> — Na	0,9	3
Крабла	1200(2000)	250(350)	»	(H <sub>2</sub> — CO <sub>2</sub> ) HCO <sub>3</sub> — —SO <sub>4</sub> — Na	0,9	11,5
<i>СССР</i>						
Паужетка	350(480)	200(256)	»	(CO <sub>2</sub> — N <sub>2</sub> ) Cl — Na	1—3,9	12,0
Паратунка	500(900)	80	Вода	(N <sub>2</sub> ) SO <sub>4</sub> — Cl — Na	1,4	0,7
<i>Турция</i>						
Кызылдере	700(1000)	190(220)	Пвс	(CO <sub>2</sub> ) HCO <sub>3</sub> — Na	4,2	5
<i>Китай</i>						
Все ГеоТЭС	—	—	Вода	—	—	2—3

Еще в 1925 г. в Японии стали сооружаться небольшие ГеоТЭС. В 1980 г. работало уже шесть станций общей мощностью почти 170 МВт. Активное освоение гидрогеотермальных ресурсов ведется на месторождении Мори (о. Хоккайдо), где в 1982 г. должна начать работать ГеоТЭС мощностью 50 МВт. К 1985 г. в стране намечается производить за счет подземного тепла 500 МВт электроэнергии, а в 1990 г. — 5000 МВт [Хаякава, 1980].

Филиппины в последние годы вышли на третье место в мире по выработке геотермальной электроэнергии (после США и Италии). Здесь выявлено несколько высокопотенциальных гидрогеотермальных систем. В Тиви (о. Лусон) действует ГеоТЭС мощностью 220 МВт. ГеоТЭС несколько меньшей мощности находится в Мак Бане близ Манилы. К 1985 г. мощность этих и других ГеоТЭС намечается довести до 1320 МВт, что будет составлять 18% от общей выработки электроэнергии в стране.

В Китае освоение гидрогеотермальных ресурсов находится в зачаточном состоянии. Правда, с 1970 г. по этой проблеме ведутся экспериментальные исследования и уже построено 6—7 (по разным авторам) карликовых ГеоТЭС (каждая мощностью менее 0,5 МВт) в провинциях Гуандун, Хэбэй, Хунань, Цзянси, Шаньдун, Ляонин. Недавно в Тибете к северу от Лхасы на гидрогеотермальном поле Яньбинь начала работать станция мощностью 1 МВт: температура пароводяной смеси достигает 180—230°C, возможный потенциал месторождения оценивается ориентировочно в 180 МВт. В период 1980—1985 гг. планируется увеличить мощности ГеоТЭС на 3—10 МВт.

Начато освоение парогидротерм в Турции, где недавно на месторождении Кызылдере построена ГеоТЭС мощностью 5 МВт. За 1980—1985 гг. предполагается нарастить ее еще на 5 МВт.

Другие страны зарубежной Азии пока не производят геотермальную электроэнергию. В ближайшие годы ее собираются вырабатывать Индонезия, Индия.

Америка, как и Азия, весьма благоприятна для сооружения ГеоТЭС. Наибольших успехов в этом отношении добились США. Площади существующего и перспективного освоения гидрогеотермальных ресурсов располагаются в пределах Тихоокеанского «огненного» кольца в западных штатах страны (Аризона, Колорадо, Айдахо, Невада, Юта, Монтана, Нью-Мексико) и на побережье Мексиканского залива.

Самая крупная в США и мире ГеоТЭС, построенная на парогазовом месторождении, называется Гейзеры Сонома (Калифорния). Месторождение приурочено к интенсивно трещиноватым песчанико-сланцевым отложениям юры. Температура пара в резервуаре достигает 285°C, на выходе падает до 200°C, производительность составляет порядка 300—400 т/ч. Первая очередь ГеоТЭС (12 МВт) пущена в 1960 г., с тех пор мощность ее постепенно наращивалась, и в конце 1980 г. работали 15 блоков общей мощностью 900 МВт (к 1985 г. планируется довести до 2100 МВт). Помимо этого в Калифорнии периодически функционировала электростанция в Империял Валли на термальных рассолах, где в теплообменнике использовался изобутан. На гидрогеотермальных системах Рузвельт (штат Юта) и Валлес Кальдера (Нью-Мексико) в 1983 г. планируется построить ГеоТЭС мощностью около 5 МВт каждая.

Широко распространены термальные воды в нефтеносном районе Мексиканского залива, где они тесно связаны с нефтяными и газовыми месторождениями. Минерализация воды колеблется от 5 до 300 г/л, максимальная температура, зафиксированная на глубине 5800 м, составляет 273°C. Многие тысячи скважин выводят на поверхность воду с температурой более 100°C, причем при вскрытии водоносных горизонтов давление на устье скважин достигает 500 атм. В перспективе на базе этих вод проектируется построить ГеоТЭС мощностью от 500 до 2500 МВт.

Несомненный интерес представляет недавно открытая крупная парогазовая геотермальная система Дикси Валли (штат Невада), в 290 км восточнее Сан-Франциско. В этой системе одной скважиной с глубины 2200—2800 м получается 68 т/ч сухого пара. В Калифорнии сделана попытка использовать для получения электроэнергии парогидротермы (температура более 270°C), с минерализацией 300 г/л, вскрытые в долине Империял, вблизи оз. Солтон-Си. Освоение месторождения для целей энергетики началось в 1964 г., когда было пробурено шесть скважин производительностью по 2000 т пара в сутки каждая. На базе этих ресурсов предполагалось построить ГеоТЭС мощностью около 50 МВт. Детальны-

ми исследованиями на месторождении установлено, что потенциальные запасы геотермической энергии составляют, как минимум, 20 000—30 000 МВт, что может обеспечить ежегодное получение 500 МВт энергии в течение более 50 лет [Юган, Названова, 1975]. Вместе с тем исследования показали, что пересыщенный рассол месторождения не позволяет использовать его для получения электроэнергии в связи с быстрой коррозией и зарастанием труб [Di Pippo, 1979].

По состоянию на 1980 г. в США мощность построенных ГеоТЭС составляла 980 МВт (см. табл. 6.5), к 1985 г. ее предполагается довести до 2800—3100 МВт, а в более отдаленной перспективе — до 15 000 МВт. Последнее будет осуществляться не столько за счет увеличения выработки электроэнергии на уже находящихся в эксплуатации месторождениях, сколько путем освоения новых.

Значительными гидрогеотермальными ресурсами для получения электроэнергии в Западном полушарии обладает Мексика, на территории которой в поясе недавно угасшего и современного вулканизма выявлено девять гидрогеотермальных систем. Среди них наиболее крупными являются Серро Прието, Лос-Негритос и Лос-Азуфрес. На первом из названных месторождений в 1968 г. начато и в 1973 г. завершено строительство ГеоТЭС мощностью 150 МВт. Станция использует пароводяную смесь (температура 280—390°C), выводимую с глубин 600—2600 м Солтонской впадины. К 1985 г. планируется увеличить мощность электростанции на 110 МВт, а в перспективе еще на 220 МВт. На месторождении Лос-Азуфрес к 1985 г. предусматривается построить ГеоТЭС мощностью 50 МВт. Потенциальная мощность одной из крупнейших в мире геотермальных площадей — Лос-Негритос — оценивается в 30 000 МВт, но она пока не осваивается.

Достаточно много геотермальной электроэнергии производит небольшой Сальвадор, где общая мощность ГеоТЭС составляет 90 МВт, в 1985 г. предполагается увеличить ее на 40 МВт.

Из других стран Центральной Америки назовем Гватемалу, Коста-Рику и Никарагуа, где к 1985 г. должны действовать ГеоТЭС мощностью по 20—30 МВт.

В Чили на базе гидрогеотермального месторождения Эль-Татио в Андах планируется строительство ГеоТЭС мощностью первой очереди 30 МВт. Месторождение — грабен, заполненный отложениями юры и мела. Продуктивный водоносный горизонт располагается на глубине 900—1000 м, имеет температуру пароводяной смеси до 265°C и минерализацию до 50 г/л. Потенциальные энергетические возможности площади оцениваются ориентировочно в 200 МВт.

В Африке до 1982 г. электроэнергию за счет подземного тепла не производили. В 1982 г. Кения планирует на месторождении Олькария (рядом с оз. Найваша) построить ГеоТЭС мощностью 30 МВт и в дальнейшем увеличить ее еще на 90 МВт. Из других стран материка предполагается производить геотермальную электроэнергию в Эфиопии (на площади Лангаю-Алато, где проектируется построить ГеоТЭС мощностью 50 МВт) и Заире.

**Австралия и Новая Зеландия.** Австралия не имеет гидрогеотермальных ресурсов для производства электроэнергии, однако расположенная рядом Новая Зеландия богата ими. Крупные их месторождения находятся в пределах вулканической зоны Таупо на Северном острове. Недавно в 200 км от Окленда открыто парогазовое месторождение Нгава, где дебит скважин составляет 100—240 т/ч пароводяной смеси при давлениях порядка 5—16 ат. В 1980 г. в Новой Зеландии работали три ГеоТЭС общей мощностью 322 МВт, крупнейшей из которых является Вайракей (см. табл. 6.5). К 1985 г. планируется увеличить мощность ГеоТЭС Бродленде на 150 МВт и в перспективе ввести в эксплуатацию месторождение Нгава, энергетический потенциал которого оценивается от 100 до 400 МВт.

Итак, общая мощность ГеоТЭС на земном шаре к 1980 г. составляла немногим более 2000 МВт, т. е. даже не достигала 1% от всей вырабатываемой электроэнергии. Однако уже к 1985 г. она должна увеличиться

в три раза, а в отдаленной перспективе в 6—10 раз, причем в основном за счет стран Азии и Америки.

Приведенными цифрами, разумеется, не исчерпываются электроэнергетические мощности, которые могут быть получены за счет подземного тепла. Они фиксируют информацию сегодняшнего дня. В сущности, человечество только начинает осваивать этот вид энергии, поэтому доля её в мировом энергетическом балансе ничтожна. Однако уже в обозримой перспективе она будет возрастать быстрее, чем доля традиционных видов энергии: скажем, названные 15 000 МВт, которые США предполагают получать в ближайшие 10 лет, уже составляют 2% общего производства электроэнергии в этой наиболее развитой стране мира.

Использование тепла земных недр по сравнению с другими источниками электроэнергии имеет как преимущества (дешевизна, возобновляемость ресурсов, минимум загрязнения окружающей природной среды и т. д.), так и недостатки (технические трудности, солеотложение в трубопроводах и др.). По мере изучения земных недр, совершенствования технологии освоения гидрогеотермальных систем и вовлечения в эксплуатацию петрогеотермальных ресурсов значение первых будет возрастать; а последних — уменьшится и отступит на второй план.

Во многих странах мира (США, Япония, Италия и др.) геотермальные ресурсы рассматриваются как будущий источник электроэнергии, способный существенно заменить традиционные виды топливно-энергетического сырья [Изучение и использование..., 1975; Берман, 1978; Хаякава, 1980]. Разрабатывается даже технология применения энергии действующих и потухших вулканов. Однако если утилизация энергии вулканов в обозримом будущем вряд ли реальна, то на гидрогеотермальные ресурсы уже сейчас возлагаются большие надежды.

Примечателен в этом плане японский правительственный проект «Северное сияние». Его основой является разработка новых методов применения гидрогеотермальных ресурсов (способы освоения, техника разведки, буровое оборудование и т. д.) с целью надежного решения основных энергетических проблем страны и согласования их с необходимостью защиты окружающей природной среды.

Сейчас японские ГеоТЭС получают термальные воды преимущественно с глубины менее 300 м. В случае же использования гидротерм на глубине до 1200 м, энергетический потенциал возрастет почти на порядок и будет составлять 20 000 МВт. Если же глубину довести до 4000 м, то общая энергетическая мощность достигнет 60 000 МВт, что составляет примерно 1/3 потребности страны. С 1978 г. в Японии готовится проект создания крупной ГеоТЭС, использующей гидрогеотермальные ресурсы с глубины 4—5 км [Хаякава, 1980]. Сооружение подобной электростанции требует уникального бурового оборудования и новых технологических схем производства электроэнергии, а также принципиально иного подхода к проблемам охраны окружающей природной среды.

#### 6.4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ КОММУНАЛЬНО-БЫТОВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЕЙ

**Советский Союз.** Использование термальных подземных вод для бытовых нужд в нашей стране уходит в далекое прошлое: с незапамятных времен «серные» горячие воды использовались в банях Тбилиси (кстати, название этого города в переводе с грузинского означает «теплое место»), эллинических поселениях Причерноморья, в Средней Азии, возможно, и других местах. С середины нашего столетия они стали также применяться для теплофикации и горячего водоснабжения, в промышленности (например, промывке и сушке готовой продукции), оздоровительных и спортивных бассейнах. Расширились география и масштабы использования воды земных недр.

Термальные воды, применяемые для коммунально-бытовых и промышленных целей, относятся к низкопотенциальным ресурсам: их температура варьирует от 30—35 до 100°. Из учетного количества добываемых в СССР термальных вод, которое в 1980 г. составляло 42 млн. м<sup>3</sup>, 23% используется на коммунально-бытовые нужды и 19% в промышленности. К сожалению, в указанное количество не входят применяемые в названных целях термальные воды Украины, Средней Азии, Казахстана, Западной и Восточной Сибири\*. С их учетом несколько повысится общее количество, но процентное соотношение вряд ли изменится.

Для теплофикации термальные воды во все возрастающих количествах применяются пока главным образом на Северном Кавказе и в Закавказье. Здесь осуществляются отопление и горячее водоснабжение 15% жителей Махачкалы, половины населения дагестанского города Избербаш, практически всего Кизляра, нового жилого района Сабуртало в Тбилиси, частично Грозного, Цаиши, Зугдиди — в общей сложности более 300 тыс. жителей. Кроме того, теплофицированы пос. Мостовский и совхоз «Эфирос» в Краснодарском крае, а также некоторые другие поселки (более 100) по обе стороны Кавказского хребта.

Основными объектами эксплуатации являются пластовые скопления термальных вод Скифской плиты и межгорных впадин Закавказья. В Дагестане, например, выявлено и околтурено 30 месторождений, прогнозные эксплуатационные запасы которых достигают 3000 млн. м<sup>3</sup>/год [Курбанов и др., 1979]. Объемы отбора ежегодно растут (млн. м<sup>3</sup>): 1970 г. — 2,5, 1975 г. — 4,6 и 1980 г. — 15. За счет использования термальных вод в 1980 г. сэкономлено примерно 900 тыс. т у. т. и других видов энергии. В Краснодарском крае, где термальные воды выводятся с глубин 1400—2400 м из нижнемеловых отложений и имеют температуру 70—100°, площадь распространения слабоминерализованных вод составляет 6000 км<sup>2</sup>. При этом дебит скважин в Мостовском и Лабинском районах достигает 2—3 тыс. м<sup>3</sup>/сут, что создает благоприятные условия для увеличения добычи термальных вод в два раза за пятилетие. Аналогичный рост (в 2—3 раза) намечается в Грузии: здесь выводятся термальные воды Рпонской и Верхнекуруинской впадин.

Теплоснабжение за счет термальных вод (температура 60—100° и минерализация 1—5 г/л) практикуется на Камчатке (поселки Паратунка, Паужетка, Эссо, Анавгай), в Тюменской и Омской областях, Бурятии (курорт Горячинск) и на юге Дальнего Востока (курорт Кульдур). Делаются попытки горячего водоснабжения в Казахстане (колхоз им. Карла Маркса Чимкентской области), Узбекистане, Туркмении и Украине (Крым и Карпаты). В ближайшие годы на отопление термальными водами будут переводиться новые предприятия и населенные пункты, особенно на БАМе и в Западной Сибири.

Использование термальных вод в промышленности СССР самое разнообразное — сушка бумаги (Тбилиси) и чая (Зугдиди), мойка шерсти (Омск), предохранение шоссе от обледенения (Камчатка), катализатор брожения и производства ферментов и т. д. В будущем планируется их применять для оттаивания мерзлых пород при строительстве и вскрытии россыпей на Северо-Востоке СССР, при создании систем кондиционирования воздуха в южных районах (Средняя Азия, Казахстан, Закавказье) или хладоснабжении.

На базе термальных вод во многих местах Советского Союза функционируют бани и плавательные бассейны (даже на территории распространения многолетнемерзлых пород, скажем, в Магаданской области).

Европа. Еще древние римляне применяли термальные воды для отопления помещений и в банях — термах. Некоторые каптажи термальных

\* Приведенные цифры выводимых в нашей стране термальных вод обнаружены на Краснодарском совещании по комплексному использованию геотермальных ресурсов в народном хозяйстве (1981 г.). Они учитывают только термальные воды, которые добываются промышленными управлениями объединения «Союзбургаз» Мингазпрома СССР на 40 месторождениях Северного Кавказа, Закавказья и Камчатки.

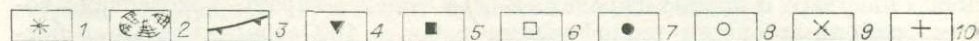
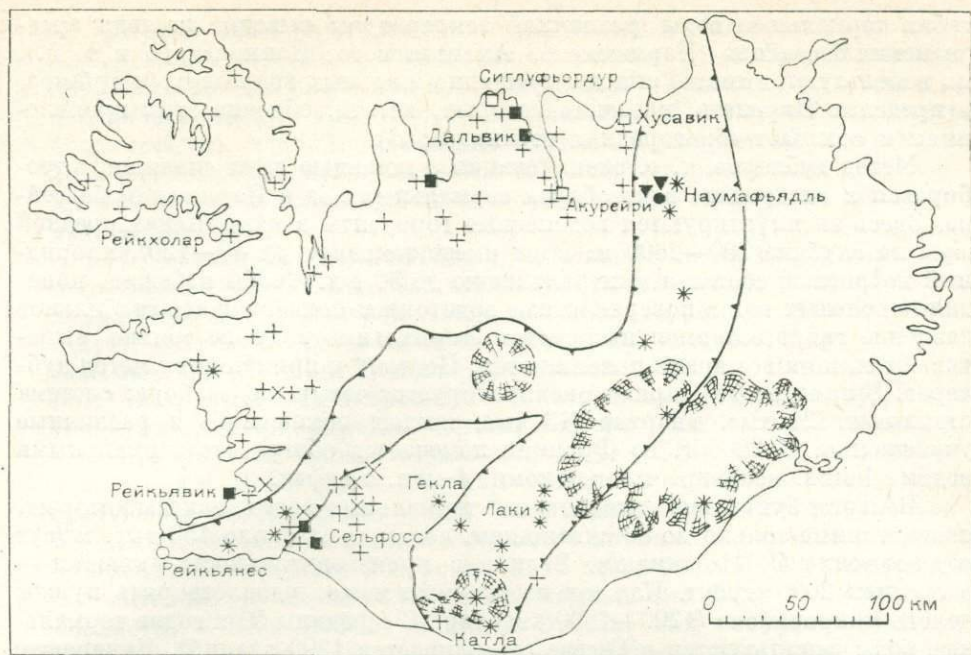


Рис. 6.4. Использование гидрогеотермальных ресурсов в Исландии [Берман, 1978].  
 1 — вулканы; 2 — ледники; 3 — границы срединной зоны; 4 — ГеоТЭС; 5—6 — системы теплофикации и горячего водоснабжения существующие (5) и планируемые (6); 7 — эксплуатируемые и 8 — намеченные к эксплуатации месторождения; 9 — главные районы тепличных хозяйств; 10 — плавательные бассейны.

источников, использовавшихся для бытовых целей во времена Римской империи, сохранились на Апеннинах, Пиренеях и Балканах до настоящего времени, а в городке Шод-Эгю (Франция) по сей день функционирует колодец, который вот уже два тысячелетия отапливает дома водой, имеющей температуру  $82^{\circ}$ . Это поистине вечная энергия!

По количеству подземного тепла на душу населения, используемого преимущественно для коммунально-бытовых нужд, первое место в Европе и мире занимает Исландия (рис. 6.4). Централизованные системы отопления и горячего водоснабжения (их более 30), включающие протяженные (до 21 км) трубопроводы и распределительные резервуары, обеспечивают теплофикацию 87% жилого фонда столицы страны Рейкьявика. Широко применяется термальная вода в промышленности и плавательных бассейнах. Вообще же в Исландии термальной водой пользуется 135 тыс. человек, что составляет 61% населения. Эту цифру в перспективе намечается увеличить до 80—85%. Вода с температурой от  $48\text{--}56$  до  $87\text{--}114^{\circ}$  выводится скважинами глубиной не более 1000—1200 м. Исландия — пример действенного использования термальных вод для теплофикации: страна в значительной мере избавилась от ввоза нефти и угля.

Утилизируются здесь гидротермы достаточно эффективно и в промышленных целях. Вблизи оз. Миват исландско-американской фирмой построен диатомовый завод, на котором диатомовый ил сушится паром температурой  $183^{\circ}$ . Расход пара в 50 т/ч обеспечивает выработку 240 тыс. т/год продукции. В Рейкьявике летом системы теплоснабжения подают воду для переработки рыбы, а в Рейкхоларе производится сушка водорослей, для чего употребляется 80 л/с воды температурой  $100^{\circ}$ .

Термальные воды в коммунально-бытовых и промышленных целях применяются в Италии, Франции, Испании, Швейцарии, Венгрии, Греции, Румынии и других странах, территории которых приходится на Альпийскую зону кайнозойской активизации. В достаточно больших маш-

табах термальные воды различной температуры выводят из недр артезианских бассейнов (Парижского, Аквитанского, Паннонского и т. д.), но используются также выходы трещинно-жильных гидротерм (например, в пределах Пиренеев, название которых, кстати, обязано этим проявлениям и означает «благородная страна серы»).

Метод дублеров, т. е. эксплуатации с помощью двух скважин, апробирован и внедрен на водозаборах термальных вод в Парижском бассейне. Здесь эксплуатируются водоносные горизонты в известняках средней юры на глубине 700—2600 м. Вода имеет температуру 40—120°, хлоридный натриевый состав и минерализацию до 30 г/л. Чтобы избежать попадания соленых вод в поверхностные водоотводы и поддерживать стабильное давление гидрогеотермальных систем, термальные воды не только откачиваются, но и все время пополняются. Поэтому и применяется метод дублеров. В пригородах Парижа эксплуатируется четыре водозабора: система отапливает 20 тыс. квартир (13 тыс. жилых помещений) и различные учреждения. К 2000 г. во Франции намечается обогревать термальными водами 1 млн. квартир, что сэкономит 1 млн. т нефти.

Венгрия буквально «плавает» на термальных водах, запасы которых, подсчитанные только по 80 скважинам, составляют около 150 тыс. м<sup>3</sup>/сут и дают тепла 400·10<sup>6</sup> ккал/ч. Велика и производительность скважин — в среднем 2000 м<sup>3</sup>/сут. Каждая из скважин может удовлетворять нужды целого микрорайона (1200—1500 квартир). С середины 50-х годов термальные воды используются в Сегеде (отапливается 1200 зданий), Будапеште (5600 квартир) и других городах. В 70-х годах в стране действовало восемь районных систем теплофикации и более 100 оздоровительных бассейнов (только в Будапеште их 41). Летом, когда необходимость в отоплении отпадает, повышается применение термальных вод для промышленных нужд. По расчетам Т. Болдижара (1975), стоимость 1·10<sup>6</sup> ккал геотермального тепла составляет 150 форинтов (3 доллара), а при сжигании угля этот выход энергии обходится в 550 форинтов (11 долларов); дополнительная выгода состоит в сокращении затрат питьевой воды на 90%. Поэтому производство геотермальной энергии, расходуемой на теплофикацию, в Венгрии удваивается примерно за 6—8 лет.

В Европе начинают использоваться термальные воды и за пределами альпинид. Заметных успехов в этом достигли ФРГ и Англия. В ФРГ разведаны запасы термальных вод среди осадочных толщ Северо-Германской низменности, Верхне-Рейнском грабене и Швабском альбе. Интересен проект освоения гидрогеотермальных ресурсов Верхне-Рейнского грабена, где вдоль зоны разлома намечается построить водозабор для получения 4500 м<sup>3</sup>/сут термальных вод температурой 90—120°, достаточной для обогрева 2000 квартир. В Англии термальные воды проектируется использовать, например, в Саутгемптоне, вблизи которого они на глубине 1500—1800 м имеют температуру 70°, а их ресурсов достаточно для обогрева 1000 жилых домов.

**Азия.** Термальные воды в коммунальном хозяйстве стран зарубежной Азии используются, как и в Европе, в течение многих тысячелетий.

Очень широко они эксплуатируются в Японии, где в 1974 г. 5118 источников и более 8000 скважин имели соответственно производительность 11 и 13 м<sup>3</sup>/с [Хириси, 1977]. В Саппоро — главном городе о. Хоккайдо — для обогрева жилых домов и общественных зданий применяются термальные воды источников Дзёдзанскэй с температурой 85—90°. Аналогично происходит отопление на о. Хонсю, а также в Окава, Амори и других городах. Так, в Амори функционирует водозабор из 15 скважин общей производительностью 21 л/с и с температурой воды 60°. В районе действующей ГеоТЭС Отаке на о-ве Кюсю термальные воды отапливают жилой комплекс из пяти поселков, четырех санаториев, двух гостиниц и ботанического сада. В стране действует несколько предприятий по кондиционированию воздуха на базе гидротерм. Девять районных систем теплоснабжения Японии расходуют 200 л/с термальных вод, иногда (в Товада и Окава) они подаются по трубопроводам длиной 10—12 км.

Первые шаги по применению гидрогеотермальных ресурсов для теплоснабжения сделаны в Китае. Пекин снабжается термальными водами двух месторождений (на юго-востоке и севере). В конце 70-х годов в город подавалось около 9 тыс. м<sup>3</sup>/сут термальных вод для отопления жилых и общественных зданий, красильно-ткацких предприятий и бань. Здесь 10% жилых домов предполагается отапливать термальными водами. Подобным образом планируется теплофицировать Тяньцзинь и некоторые другие города.

К сожалению, сколь-нибудь удовлетворительная информация об использовании термальных вод в коммунально-бытовых и промышленных целях большинством стран Азии, Америки, Африки и Австралии отсутствует. В лучшем случае имеются самые общие сведения о применении термальных вод (Турция, Мексика, Филиппины, Индия, Кения, ЮАР, Египет, Австралия) или о проектах отопления ими (Эфиопия, МНР и др.). Более или менее конкретные данные есть по США и Новой Зеландии.

Для обогрева зданий термальные воды в США стали использоваться в 1892 г. в г. Бойсе (штат Айдахо). Созданная отопительная система в последующем расширялась, к ней были подключены административные учреждения; сейчас она является одной из крупных в Западном полушарии и обеспечивает теплом 200 домов и 12 предприятий. Следующий город, относительно давно использующий термальные воды в коммунальном хозяйстве, — Клатмат-Фолс в штате Орегон: для получения термальной воды пробурено несколько скважин, из которых вода через теплообменники (вторичной жидкостью является водопроводная вода) поступает в отопительные системы школ, магазинов и жилых домов — всего в 500 зданий.

Кроме Бойсе и Клатмат-Фолса термальные подземные воды используются для отопления зданий в ряде других городов штатов Айдахо, Орегон, Калифорния и Невада, планируется применение тепла подземных вод в штатах Монтана, Техас, Колорадо, Юта, Нью-Мексико и Аризона.

Практикуется в США также утилизация термальных вод во многих технологических процессах самых различных отраслей промышленности, вплоть до обогрева дорожного покрытия в Клатмат-Фолсе или получения пластической взрывчатки в Стимбот Спрингсе (штат Невада). В Имperial Валли рядом с ГеоТЭС на гидрогеотермальных ресурсах действуют дистилляционные установки для получения пресной воды.

Давно применяются они и в Новой Зеландии: для отопления жилых и общественных зданий в Роторуа, Вайракее и других городах, кондиционирования воздуха на ГеоТЭС Каверау и т. д. В районе Каверау геотермальный пар приводит в действие машины, транспортирующие бревна, сушит лес на деревоперерабатывающем предприятии и обеспечивает технологический процесс на целлюлозно-бумажной фабрике.

## 6.5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В Советском Союзе на сельскохозяйственные цели (отопление теплиц, парников и животноводческих комплексов, обогрев почвы, ранний полив сельскохозяйственных культур, устройство рыбопродуктивных прудов и т. д.) в 1980 г. расходовалось 43% эксплуатируемых термальных вод. Сельскохозяйственное их использование производится на несколько большей территории по сравнению с коммунально-бытовым и промышленным, поскольку температура потребляемой для таких нужд воды обычно не превышает 60° (см. табл. 6.2).

В СССР таким способом обогревается около 50 га теплиц (1980 г.). Наибольшую площадь теплично-парниковых хозяйств, обогреваемые термальными водами, имеют на Северном Кавказе (22 га), в Закавказье (18 га) и на Камчатке (6 га). Есть они в Средней Азии, Казахстане, Западной Сибири, Забайкалье и на Чукотке. К 1985 г. общая площадь возрастет

Площади теплиц, которые можно отопить термальными водами в СССР [Маврицкий, 1976]

Район	Суммарная площадь теплиц, га	Примерный эквивалент условного топлива, млн. т/год	Район	Суммарная площадь теплиц, га	Примерный эквивалент условного топлива, млн. т/год
Камчатка	200	0,5	Казахстан	100	0,2
Курилы и Сахалин	50	0,1	Северный Кавказ	300	0,5
Дальний Восток и Северо-Восток	10	0,05	Грузия	200	0,3
Забайкалье	50	0,1	Азербайджан	50	0,05
Западная Сибирь	300	0,7	Равнинный Крым	40	0,05
Средняя Азия	100	0,15			
			Всего . . . .	1400	2,8

до 150—200 га. Перспективы развития теплично-парниковых хозяйств на термальных водах у нас в стране огромны и не идут ни в какое сравнение с существующим использованием (табл. 6.6).

В СССР сейчас строятся мощные тепличные комбинаты для комплексного использования термальных вод. Весьма типичен в этом отношении Мостовский геотермальный комплекс в одноименном районе Краснодарского края. Тут с глубины 1600—1700 м самозливом 14 скважин выводят воду с температурой 70—75° и минерализацией 1—1,5 г/л. Общий водотбор составляет 19 тыс. м<sup>3</sup>/сут, из них 12 тыс. м<sup>3</sup>/сут обеспечивают потребности 12 га теплиц межколхозного объединения «Плодоовощевод», 7,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут снабжает теплом поселок Мостовский (6 тыс. жителей) и 1,5 тыс. м<sup>3</sup> расходуется на деревообрабатывающем комбинате. Подземное тепло используется на сельскохозяйственные нужды с максимальной эффективностью. Из скважин вода поступает в теплицы, оттуда с температурой 45—50° направляется в животноводческий комплекс (обогрев в холодное время питьевой воды, приготовление кормов, мойка и т. д.) и далее, уже с температурой 25—30°, применяется в рыборазводных прудах и для теплого орошения полей. Комплексное использование термальных вод в Мостовском районе позволило за пять лет (1976—1980 гг.) сэкономить 57,3 тыс. т у. т. на сумму около 2 млн. руб., не считая уменьшения себестоимости продукции в 1,5 раза.

В перспективе площадь Мостовского тепличного комбината будет расширена до 30 га. Подобные комбинаты сейчас действуют в районе грузинского города Очамчире и на базе Паратунского месторождения гидротерм рядом с г. Петропавловском-Камчатским. В ближайшие годы их намечается соорудить в Лабинском и других районах Краснодарского края, Дагестане, Закавказье, Западной и Восточной Сибири, Средней Азии, Казахстане.

Большой экономический эффект получается от круглогодичного рыборазведения в прудах, обогреваемых термальными водами, что успешно осуществлено в Омской и Камчатской областях. Если в теплицах, функционирующих на геотермальном тепле, получают самые дешевые внесезонные овощи, то в термальных водах рыборазводных прудов быстрее чем где-либо, а главное — круглый год выращивается рыба. Аналогичный экономический эффект дает ранний полив термальными водами различных сельскохозяйственных культур. Это резко ускоряет их рост и созревание, поэтому такой полив стал практиковаться в колхозах и совхозах. В хозяйствах Северного Казахстана, например, благодаря ему существенно возросла урожайность.

Термальные воды используются в сельскохозяйственном производстве многих стран. Обогрев теплиц и парников за счет подземного тепла широко применяется в Исландии, где площадь закрытого грунта в 1980 г. составляла 150 га, при этом выращивались не только овощи, но цветы,

виноград и даже бананы. В Венгрии термальные воды применяются также для обогрева инкубаторов, хладоснабжения молокозаводов, при сушке сельскохозяйственной продукции и т. д. А площадь обогреваемых подземным теплом теплично-парниковых хозяйств в 1980 г. достигла 200 га. По подсчетам венгерских специалистов [Balogh, Bökfi, 1976], в среднем по стране стоимость эксплуатации гидрогеотермальных установок, используемых в сельском хозяйстве, соответствует 25—30% стоимости установок, работающих на нефти. Можно привести и другие примеры, хотя и не столь впечатляющие, успешного применения термальных вод в сельскохозяйственном производстве Италии, Франции, некоторых стран Азии и Америки. Везде, как и у нас в стране, использование термальных вод год от года растет.

Вместе с тем вызывает беспокойство следующий факт. Хотя гидрогеотермальные ресурсы только начинают осваиваться, на ряде эксплуатируемых месторождений уже наблюдаются признаки истощения, проявляющиеся в снижении напоров до критических значений. Это отмечается как на подземных «котельных» некоторых ГеоТЭС (США, Италия и т. д.), так и при использовании термальных вод для коммунально-бытовых и сельскохозяйственных нужд (Венгрия, Краснодарский край и др.). Поэтому охрану гидрогеотермальных ресурсов надо не упускать из поля зрения в самой начальной стадии освоения месторождений термальных вод и парогидротерм.

В последнее десятилетие из-за энергетического кризиса, охватившего многие страны, человечество начинает вовлекать в топливно-энергетический баланс новые, как их называют, нетрадиционные источники энергии. Среди них важная роль отводится и гидрогеотермальным ресурсам [Байбаков, 1979]. Принимая во внимание экономический эффект от их использования, надо предположить, что современные темпы освоения не идут ни в какое сравнение с тем, что ожидает этот источник энергии в обозримой перспективе. Без всякого преувеличения можно сказать, что гидрогеотермальные ресурсы — энергия будущего.

## ЛИТЕРАТУРА

Байбаков Н. К. Проблемы совершенствования структуры топливно-энергетического баланса страны и вовлечения новых видов энергоресурсов. — Р кн.: Методы поисков и разведки подземного тепла. Махачкала, 1979, с. 3—9.

Берман Э. Геотермальная энергия. М.: Мир, 1978. 416 с.

Болдижар Т. Получение геотермальной энергии из водоносных горизонтов осадочных пород в Венгрии. — В кн.: Изучение и использование геотермических ресурсов. М.: Мир, 1975, с. 122—143.

Временные правила разработки месторождений термальных вод. М.: изд. ВНИИГАЗ, 1980. 62 с.

Гаджиев А. Г. Основные экономические предпосылки развития и специализации производительных сил Дагестанской АССР на базе использования возобновляемой энергии региона. — В кн.: Методы поисков и разведки подземного тепла. Махачкала, 1979, с. 16—26.

Геотермические условия и термальные воды Грузии. Тбилиси, 1980. 206 с.

Изучение и использование геотермических ресурсов. М.: Мир, 1975. 342 с.

Коган Б. И., Названова В. А. Рост промышленного и комплексного использования природных минерализованных вод. — В кн.: Проблемы минерального сырья. М.: Наука, 1975, с. 162—182.

Кононов В. И. О современном состоянии геотермических исследований и использовании глубинного тепла Земли в СССР и за рубежом. М.: изд. ГИН АН СССР, 1982. 25 с.

Курбанов М. К., Дибиров Д. А., Шейхов Ю. Г. Комплексная оценка геотермальных ресурсов Дагестана. — В кн.: Методы поисков и разведки подземного тепла. Махачкала, 1979, с. 109—113.

Маврицкий Б. Ф. Геотермальные ресурсы СССР и перспективы их использования для целей тепло- и электроснабжения. — В кн.: Вопросы использования тепла Земли для производства электроэнергии. М., 1976, с. 73—87.

Макаренко Ф. А., Кононов В. И. Гидротермальные районы СССР и перспективы их освоения. Изучение и использование глубинного тепла Земли. М.: Наука, 1973. 316 с.

Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология. Новосибирск: Наука, 1980. 232 с.

Посохов Е. В., Толстухин Н. И. Минеральные воды — лечебные, промышленные, энергетические. Л.: Недра, 1977. 240 с.

Ресурсы термальных вод СССР. М.: Недра, 1975. 152 с.

Сугробов В. М. Геотермальные ресурсы Камчатки, классификация и прогнозная оценка. — В кн.: Изучение и использование геотермальных ресурсов в вулканических областях. М.: Наука, 1979, с. 26—35.

Хаякава М. Потенциал и технические характеристики геотермальной энергии. — В кн.: Первый советско-японский энергетический симпозиум (доклады японской стороны). — Иркутск, 1980, с. 30—42.

Хирояси Я. Обзор использования горячих источников в Японии в 1974 финансовом году. Онсэн кагаку кайси. — Journ. Soc. Eng. Mineral Springs Jap., 1977, v. 12, N 1, p. 40—50.

Balogh I., Bötkfi S. Results achieved up to the present in Hungary in the utilisation of geothermal energy. — In: Intern. Congress on the Thermal Waters, Geotherm. Energy and Volcanology of the Mediter. Area. Proc., Athens, 1976, v. 1, p. 87—99.

Di Pippo R. International developments in geothermal power. — ASTM Stand. News, 1979, N 10, p. 19—28.

Mahon W. A. The chemical composition of natural thermal waters. — In: International Symposium on the Hydrogeochemistry and Biogeochemistry, Japan, 1970. 1973, v. 1, Hydrogeochemistry, p. 196—210.

Truesdell A. H. Summary of Section 3. Geochemical techniques in exploration. — In: The Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San-Francisco, 1975. Proc., 1976, v. 1, p. LII—LXIII.

White D. E. Thermal and Mineral Waters of the United States. — Brief Review of Possible Origins. Intern. Geol. Congress. Prague, 1969, v. 18, p. 269—286.

## 7. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

### 7.1. ИСТОЧНИКИ И ВИДЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

К загрязненным подземным водам относятся воды, состав и физические свойства которых под влиянием деятельности человека ухудшились по сравнению с природными подземными водами данного района, не затронутыми антропогенным влиянием. Эта формулировка близка к критерию определения загрязненности поверхностных вод, который принят в СССР в «Правилах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами» [1975 г.] и на совещании экспертов Европейской экономической комиссии ООН (Женева, 1961): «Река загрязнена, если состав или состояние воды в ней изменились под влиянием (прямым или косвенным) деятельности человека и она стала в результате этого менее пригодной для любой или всех целей, для которых она была бы пригодной в ее естественном состоянии».

Е. В. Пиннекер [1979] под загрязнением подземных вод понимает любое ухудшение их качества в результате деятельности человека, которое в конечном итоге делает их непригодными для использования. Иначе говоря, загрязнение связывается с вредностью.

В зависимости от степени изменения качества подземных вод можно выделить воды: 1) слабозагрязненные — показатели качества воды превышают природные (фоновые) значения, но ниже предельно допустимых концентраций (ПДК) для того или иного вида пользования; 2) загрязненные — показатели качества воды превышают ПДК в несколько раз; 3) сильнзагрязненные — показатели качества воды существенно превышают ПДК и близки к показателям состава раствора в источнике загрязнения.

При загрязнении в подземных водах может происходить как увеличение содержания компонентов, встречающихся в природных подземных

Загрязнение подземных вод в США за три года [Lindorff, 1979]

Загрязнители подземных вод	Общее количество случаев загрязнения	Последствия загрязнения		Загрязнители подземных вод	Общее количество случаев загрязнения	Последствия загрязнения	
		нарушение водоснабжения, %	взрывы и пожары, %			нарушение водоснабжения, %	взрывы и пожары, %
Промышленные отходы	50	31	2	Хлориды	16	13	—
Фильтраты, образующиеся на участках свалок	49	7	—	Радиоактивные отходы	7	2	—
Нефтепродукты	27	18	10	Пестициды	4	2	—
Органические отходы	21	15	—	Удобрения	3	3	—
				Шахтные воды	3	1	—

водах (хлоридов, сульфатов, железа и др.), так и появление несвойственных им элементов и соединений, связанное с деятельностью человека (поверхностно-активных веществ, ядохимикатов и др.).

В зарубежной литературе для характеристики степени загрязнения подземных вод используют два разных термина: *contamination* — изменение качества воды в нежелательном направлении, и *pollution* — изменение качества воды до состояния, когда вода становится уже непригодной для практического использования.

Гидрогеологические исследования, выполненные у нас и за рубежом в последние 20—30 лет, существенно расширили представления о причинах, условиях, масштабах и последствиях загрязнения подземных вод. Анализ этих вопросов, выполненный при рассмотрении многочисленных примеров советскими и зарубежными учеными, показывает, что интенсивность загрязнения подземных вод, характеризующаяся размерами площади загрязненного водоносного горизонта и концентрациями загрязняющих веществ в подземных водах, а также вид и масштаб неблагоприятных последствий загрязнения (ухудшение качества воды источников водоснабжения, пожары, взрывы и др.) определяются следующими основными факторами: 1) характером источника загрязнения, 2) гидрогеологическими условиями участка действия источника загрязнения, 3) наличием, сроком осуществления и эффективностью мероприятий, предпринимаемых для ограничения развития загрязнения.

Источники загрязнения подземных вод классифицируются по виду и происхождению загрязняющих веществ, по условиям поступления загрязнений в водоносный горизонт, по масштабу загрязнения.

По происхождению загрязняющие вещества могут быть связаны: 1) с промышленными сточными водами и отходами; 2) с хозяйственно-бытовыми сточными водами и отходами; 3) с сельскохозяйственными удобрениями, ядохимикатами, стоками и отходами птицеферм и животноводческих комплексов; 4) с природными некондиционными водами (соленые воды морей и поверхностных водотоков, подземные воды, содержащие повышенные количества хлоридов, сульфатов, железа, фтора, сероводорода, солей и т. д.) [Fried, 1975].

Чрезмерное потребление подземных вод, а также поступление в эти воды загрязненных поверхностных вод уже во многих странах как развитых, так и развивающихся привело к их загрязнению. В США наиболее распространенными загрязнителями являются промышленные сточные воды и отходы на участках их сбора и хранения, а также территории свалок промышленных и хозяйственно-бытовых отходов (табл. 7.1). Здесь установлено около 100 тыс. участков, где сточные воды и отходы сбрасываются на поверхность земли; во многих случаях это уже вызвало загряз-

нение подземных вод. По данным агентства США по охране окружающей среды USEPA (1980), на 50 тыс. свалок находятся химические отходы, содержащие необезвреженные токсичные вещества, причем 75% таких свалок расположены в важнейших для водоснабжения страны районах.

По особенностям загрязнения веществ выделяют химическое (неорганическое, органическое), биологическое (микробное, водорослевое), радиоактивное и тепловое загрязнения.

**Химическое загрязнение** подземных вод связано главным образом с промышленными сточными водами; утечками технологических растворов; растворением сырья, твердых отходов и продуктов промышленности атмосферными осадками; загрязнением атмосферного воздуха; химизацией сельского хозяйства. Разнообразный состав сырья, продуктов, сточных вод, отходов современного промышленного производства в химической, металлургической, горно-добывающей, горно-обогатительной, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, машиностроительной, металлургической, коксохимической, целлюлозно-бумажной, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности определяют многообразие химических веществ, которые могут поступить в подземные воды. В загрязненных подземных водах были обнаружены тяжелые металлы, ароматические углеводороды, нефтепродукты, поверхностно-активные вещества, фенолы, цианиды, пиридиновые основания, дитиофосфаты, ксантогенаты, сульфаты, хлориды, фтор, марганец, мышьяк, азот, аммиак и многие другие вещества.

Загрязнение подземных вод нефтепродуктами не только ухудшает качество воды, делая ее непригодной для питьевых и других целей, но может привести к взрывам и пожарам. Так, например, по этой причине большое количество взрывов и пожаров произошло в долине р. Миссури (Сент-Луис, США) в районе нефтеперерабатывающих заводов, где накопление бензина в аллювиальном водоносном пласте продолжалось много лет [Lindorff, 1979]. О разнообразии химических загрязнений, которые могут поступить в поверхностные и подземные воды, свидетельствует большое количество веществ, для которых определены значения ПДК. В связи с производством и применением новых продуктов, материалов, технологических процессов список этих веществ непрерывно расширяется.

**Биологическое загрязнение** вызывается поступающими в подземные воды разнообразными микроорганизмами — вирусами, бактериями, водорослями, простейшими, грибами, актиномицетами. Наиболее опасные последствия вызывают болезнетворные бактерии и вирусы, поступающие в подземные воды на участках интенсивной и длительной фильтрации фекальных и хозяйственно-бытовых вод из дефектной канализационной сети, выгребных ям, скотных дворов, полей фильтрации, прудов для биологической очистки сточных вод и др.

К болезнетворным микроорганизмам относятся холера, сальмонелла, шигелла, энтерококки, разнообразные вирусы (их около 700), вызывающие инфекционный гепатит, полиомиелит и другие болезни. Безопасность воды в эпидемиологическом отношении по стандартам СССР и других стран устанавливается обычно по косвенным показателям — количеству бактерий группы кишечной палочки в 1 л воды и общему количеству их в 1 мл воды. При подозрении бактериального заражения воды определяют, кроме того, содержание болезнетворных бактерий, кишечных вирусов, яиц гельминтов. Вместе с тем имеются данные, указывающие на недостаточность стандартных методов оценки бактериальной загрязненности подземных вод.

В прибрежные (инфильтрационные) водозаборы, расположенные на близких расстояниях от реки и в особенности отбирающие воду из трещиноватых или крупнозернистых пород, биологические загрязнения могут поступать из речных вод, привлекаемых водозабором. Крупные микроорганизмы, входящие в состав планктона рек и озер, обычно не проникают в подземные воды. Известны, однако, случаи, когда в подземных водах

и водозаборах, расположенных на берегах мелководных водохранилищ, появлялись синезеленые водоросли и железобактерии (район г. Брайтон — Великобритания и др.).

Вместе с бактериальным загрязнением хозяйственно-бытовых сточных вод и отходов в подземные воды поступают разнообразные органические вещества, продукты их распада, поверхностно-активные вещества и др. Привнос в водоносный горизонт большого количества органических загрязнений, например, из силосных ям, свалок, на которых складываются отходы пищевой промышленности, и т. п., вызывает интенсивный рост микроорганизмов. Значительная микробная активность может обусловить вторичное загрязнение подземных вод, выражающееся в уменьшении количества растворенного кислорода в воде; биохимическом превращении нитратов в аммоний, сульфатов — в сульфиды с осаждением сульфидов железа; выносе железа и марганца из почв и пород в создавшихся анаэробных условиях и отложении этих веществ в другой части водоносного пласта вследствие деятельности железобактерий и т. п. Интенсивный рост в воде железобактерий и сульфатредуцирующих бактерий, который привел к ухудшению качества воды в водозаборных скважинах, описал М. Хатчинсон [Groundwater..., 1974]. Причиной загрязнения в одном случае был сброс отходов сахара и сточных вод кондитерской промышленности в отработанный гравийный карьер, в другом — фильтрация сточных вод из сплошной ямы.

**Радиоактивное загрязнение** подземных вод является следствием поступления урана, радия, стронция, цезия, трития и некоторых других элементов в атмосферу и на поверхность земли в результате ядерных взрывов или со сточными водами предприятий, добывающих и использующих радиоактивные вещества в отдельных отраслях промышленности в научных, лечебных, производственных целях. Распространение радиоактивных веществ в подземных водах в значительной степени определяется скоростью распада элемента и наличием почвенного слоя и покровных грунтов, задерживающих сорбирующиеся и короткоживущие элементы. Радиоактивное загрязнение угрожает в первую очередь грунтовым водам, в особенности при малой мощности сорбирующего почвенного слоя и мелкозернистых глинистых грунтов. Наиболее опасны радиоактивные элементы, плохо сорбирующиеся на породах (иод-131, сера-35, рутений-106, уран-, цезий-137, стронций-90), а среди них — стронций-90, цезий и уран — долгоживущие и обладающие повышенной миграционной способностью в подземных водах.

**Тепловое (термальное) загрязнение** подземных вод проявляется в изменении их температуры под влиянием техногенных факторов, например при сбросе в пруды-охладители или скважины нагретых вод из систем кондиционирования от тепловых электростанций и других объектов. Так, в районе мощной электростанции, расположенной в долине р. Висконсин (Колумбия, США), где из пруда-охладителя терялось на фильтрацию около 45% подаваемой воды, термальное загрязнение подземных вод наблюдалось на расстоянии до 100 м от пруда-охладителя.

Термальное загрязнение подземных вод возможно также на участках береговых водозаборов, привлекающих речные воды, нагретые из-за сброса горячих сточных вод [Andrews, 1978].

Повышение температуры подземных вод на территории Москвы под влиянием многообразного комплекса искусственных факторов, способствующих поступлению в недра тепла, исследовано В. И. Просенковым [1978].

Можно выделить четыре основных случая поступления загрязнений в водоносный горизонт (рис. 7.1):

1) поступают сверху с поверхности земли при непосредственной инфильтрации сточных вод из накопителей, с территорий промпредприятий и других объектов, при фильтрации минерализованных вод на орошаемых территориях и т. п. Площадь и интенсивность инфильтрации могут быть

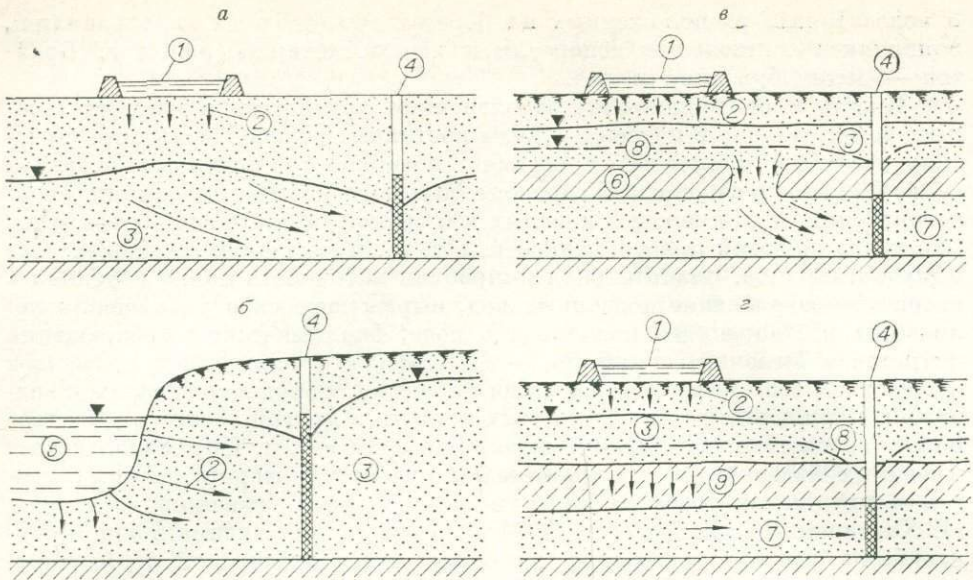


Рис. 7.1. Условия поступления загрязнений в водоносный горизонт.

а — сверху при инфильтрации с поверхности земли; б — сбоку — из рек и водоемов; в — при локальном перетоке через «окно» в водонепроницаемом пласте; г — при площадном перетоке через слабопроницаемый пласт.

1 — источник загрязнения на поверхности; 2 — фильтрация загрязненных поверхностных и сточных вод; 3 — загрязненные грунтовые воды; 4 — водозаборы; 5 — загрязненная река или водоем; 6 — водоупорный пласт с гидрогеологическим «окном»; 7 — эксплуатируемый горизонт подземных вод; 8 — пьезометрическая кривая; 9 — слабопроницаемый пласт.

при этом различными, характер инфильтрации во времени — постоянный, периодический, одноразовый (случайный) (рис. 7.1, а);

2) поступают сбоку — при фильтрации загрязненных вод в борты и русло реки, а в паводки — и на площади затопленной поймы и низких террас (см. рис. 7.1, б). Подобные условия загрязнения, как и в предыдущем случае, характерны для грунтовых вод, особенно при малой мощности и значительной водопроницаемости пород зоны аэрации. К этому же типу можно отнести случаи интрузии морских вод в прибрежные водоносные горизонты, уровни воды в которых снижены из-за водоотбора;

3) поступают путем вертикального перетока из смежного по разрезу загрязненного водоносного горизонта по стволу дефектной скважины, либо через «гидрогеологическое окно» в разделяющем их водоупорном пласте (см. рис. 7.1, в), либо через разделяющий слабопроницаемый пласт (см. рис. 7.1, г);

4) загрязнения поступают непосредственно при их сборе в поглощающие горные выработки (скважины, колодцы, шахты) в связи с различными технологическими процессами, затрагивающими недра земли, например, при захоронении сточных вод путем их закачки в скважины, при подземной газификации углей, при самоизливах и перетоках соленых вод и нефти по стволу дефектных скважин и т. п.

По масштабу площадного развития выделяются локальные и региональные загрязнения подземных вод. Первые вызываются отдельными (точечными) источниками, затрагивая сравнительно небольшие участки водоносного пласта; своевременными мероприятиями неблагоприятные последствия локального загрязнения могут быть ограничены и в отдельных случаях полностью ликвидированы. Региональные загрязнения вызываются действием многочисленных источников, обуславливающих в совокупности их площадной характер; ликвидация такого загрязнения очень трудна, а в ряде случаев практически невозможна.

Существуют и другие классификации источников загрязнения подземных вод. Так, Е. В. Пиннекер [1979] различает следующие основные виды загрязнения: промышленное, сельскохозяйственное, коммунально-

бытовое, за счет внедрения морских и глубоких соленых вод и в результате ядерных взрывов. Агентство по охране окружающей среды в США (USEPA) выделяет три группы источников загрязнения: I и II группы связаны со сточными водами и отходами, III группа с ними не связана.

К I группе отнесены сооружения и предприятия, при строительстве и эксплуатации которых заранее предусматривалось поступление загрязненных вод в породы и подземные воды (оросительные системы, системы септиков, выгребных ям, сточных колодцев; складирование растворимых шламов и других отходов непосредственно на поверхности земли, а также в неэкранированных шламохранилищах, отстойниках, карьерах; сброс и нагнетание сточных вод и рассолов в поглощающие скважины и т. п.).

К II группе отнесены сооружения и предприятия, которые в результате своей деятельности также дают сточные воды и отходы, но из которых поступление загрязнений в подземные воды специально не предусматривалось. К ним отнесены: фильтрация и переливы сточных вод через недостаточно экранированное дно и борта различных накопителей промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод; вымывание загрязняющих веществ из горных отвалов, содержащих отходы и «хвосты», и фильтрация получающихся растворов в породы; инфильтрация откачиваемых минерализованных шахтных вод с участков их сбора, накопления и путей транспортировки; пастбища на сельскохозяйственных территориях; свалки твердых отходов и т. п.

К III группе отнесены: случайные и аварийные утечки разнообразных жидких продуктов производства из емкостей для их хранения, трубопроводов и т. п.; загрязнение атмосферных осадков при выщелачивании и растворении руды из отвалов, при растворении солей — противообледенителей на транспортных магистралях; ядохимикатов и удобрений на сельскохозяйственных территориях и т. п.

## 7.2. ЛОКАЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Локальные источники загрязнения подземных вод многочисленны и разнообразны по интенсивности, составу загрязнений, характеру их поступления в пласт.

Наиболее неблагоприятные последствия вызывает загрязнение подземных вод при утечке сточных вод из фильтрующих земляных емкостей, используемых для сбора, хранения, испарения жидких и твердых отходов производства: шламо- и хвостохранилищ, гидрозолоотвалов, прудов-накопителей, отстойников, испарителей, полей фильтрации промстоков и т. п.

Сточные воды и отходы здесь загрязнены растворимыми веществами, входящими в состав измельченного сырья, продуктов и отходов производства, а также флотореагентами, используемыми при обогащении руд. Большая площадь, занимаемая шламохранилищами, гидрозолоотвалами и тому подобными сооружениями, а также значительный объем собираемых в них сточных вод, обуславливают соответственно большое загрязнение подземных вод, особенно в водоносных горизонтах, сложенных высокопроницаемыми крупнозернистыми или трещиноватыми породами. Так, в 1976 г. в южной части штата Миссури (США) после обрушения закарстованных пород под накопителем большие объемы сточных вод поступили в водоносный горизонт, сложенный доломитами, и мигрировали в нем на протяжении более 25 км, прежде чем разгрузились на поверхности земли.

Характерные примеры локального загрязнения подземных вод из различного рода накопителей сточных вод приведены Ф. М. Бочевером и др. [1979]. Вот некоторые из них.

Завод, изготовляющий сажу из нефтепродуктов, расположен на высокой надпойменной террасе реки между двумя оврагами. Нефтепродукты (зеленое масло, термогазойль, газойль) в течение многих лет хранились

в земляных емкостях. Из-за многолетней утечки нефтепродуктов из последних и аварий запорной арматуры на складе хранения сырья водоносные грунты на территории завода и вне его оказались насыщенными нефтепродуктами, которые вместе с грунтовыми водами высачивались в овраги и на берега реки, что приводило к ее загрязнению. Нефтепродукты, обладающие огнеопасными свойствами, были обнаружены также в подвалах и погребах жилого поселка, расположенного южнее завода.

На территории завода до глубины 10 м залегают водоносные аллювиальные пески с прослоями суглинков и супесей (рис. 7.2), которые подстилаются моренными валунными глинами и суглинками (10—15 м), причем неровная кровля их имеет уклон к реке. Ниже залегают глины и пески мелового возраста.

Зона загрязнения околонулена линией, где количество нефтепродуктов в грунтах не превышает сотых долей миллиграмма на 1 кг сухого грунта. Загрязнена практически вся территория завода, вплоть до оврагов, которые частично дренируют поток грунтовых вод. Наиболее высокая концентрация нефтепродуктов—до 50—70 г на 1 кг сухого грунта—отмечена вблизи подземной емкости для хранения сырья, двух баков-нефтехранилищ, вблизи нефтепроводов, сливной эстакады, насосной станции и на застойных участках, где скорости фильтрации грунтовых вод ничтожны. Суммарное количество нефтепродуктов в грунтах зоны по расчету составляет 5200 т. В разрезе нефтепродукты встречены по всей мощности песков; в моренных отложениях загрязнены только верхние 20—50 см. Передвигаясь вместе с грунтовыми водами по кровле моренных отложений, нефтепродукты высачиваются на крутом берегу вблизи уреза реки и в оврагах. Особенно заметно это явление в паводок, при повышенных уровнях подземных вод, когда происходит их разгрузка из застойных участков.

В другом районе подземные воды аллювиального водоносного горизонта, используемого для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения города, были загрязнены в результате фильтрации сточных вод из шламонакопителя и утечек технологических вод из цехов завода хромовых соединений (рис. 7.3).

Мощность водоносного аллювия зависит от рельефа дна долины и составляет 2—15 м в современной долине и 25—30 м в древней. Подземные воды в долинах, образующие единый водоносный комплекс, местами отделены друг от друга полосой выхода дочетвертичных глин, подстилающих аллювиальные отложения. В период весеннего половодья и интенсивных дождей река и ее притоки питают аллювиальный водоносный горизонт; в летнюю и зимнюю межень река дренирует аллювиальные воды. В естественных условиях до строительства водозаборов поток подземных вод в аллювии был направлен вдоль долины. После устройства водозаборов, полей фильтрации, шламонакопителя и гидрозолоотвала поверхность

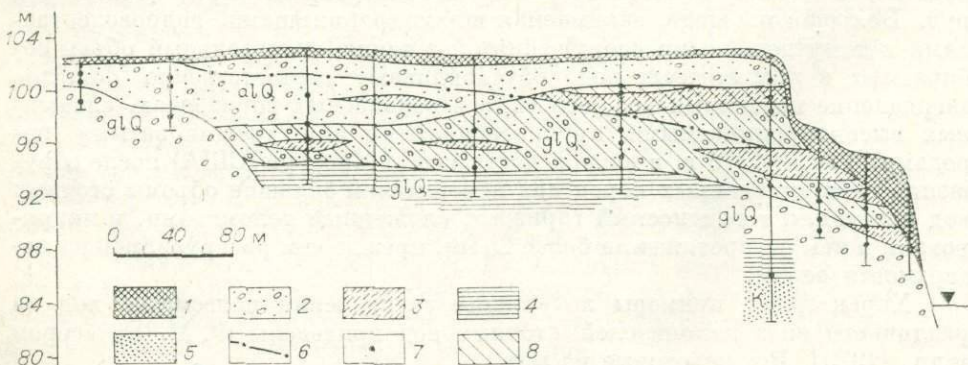
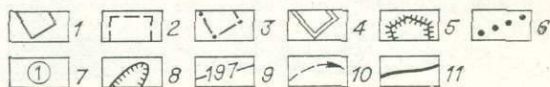
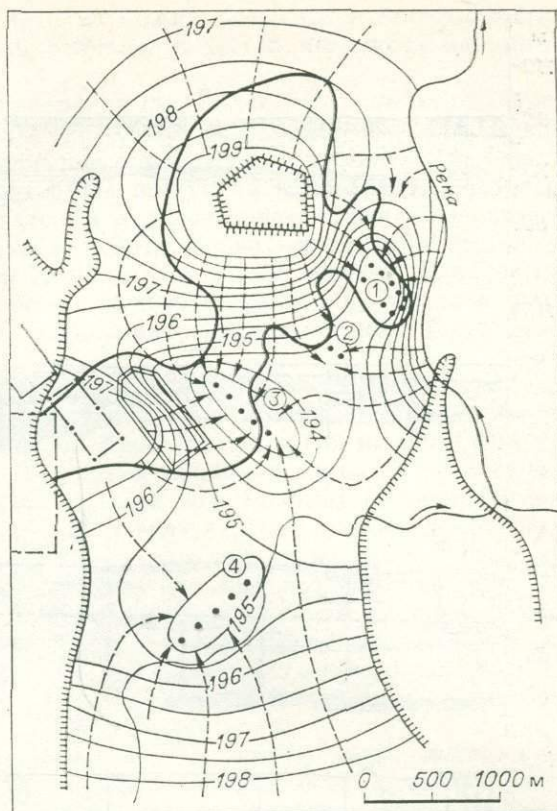


Рис. 7.2. Загрязнение подземных вод и грунтов нефтепродуктами.

1 — насыпной грунт; 2 — пески аллювиальные; 3 — суглинки и супеси аллювиальные; 4 — суглинки моренные; 5 — пески мелового возраста; 6 — уровень грунтовых вод; 7 — места отбора проб воды и грунтов; 8 — зона загрязнения подземных вод и грунтов.

Рис. 7.3. Гидродинамическая сетка фильтрации подземных вод в районе химического завода при одновременной эксплуатации водозаборов, гидрозолоотвала и полей фильтрации.

1 — новый действующий шламонакопитель химического завода; 2 — поля фильтрации мяскокомбината; 3 — старый шламонакопитель химического завода; 4 — территория химического завода; 5 — гидрозолоотвал; 6 — водозабор подземных вод; 7 — номер водозабора; 8 — граница выхода коренных глин и борт древней долины; 9 — гидрозогипсы; 10 — линии тока; 11 — контур загрязнения.



грунтовых вод осложнилась на этих участках отдельными депрессионными воронками и «буграми» растекающихся фильтрационных вод. Подземные воды на участках водозаборов оказались в той или иной мере загрязненными шестивалентным хромом, содержащимся в технологических и сточных водах химического завода, так как завод и старый шламонакопитель, в который сбрасывались  $1500 \text{ м}^3/\text{сут}$  сточных вод с содержанием хрома 10—12 г/л, были размещены на аллювиальной террасе.

Через несколько лет, когда был построен новый шламонакопитель на коренном берегу (см. рис. 7.3), сложенном дочетвертичными глинами, объем поступления хромосодержащих стоков в подземные воды уменьшился. Однако загрязненность последних оставалась высокой — она поддерживалась вымыванием хрома атмосферными осадками и подземными водами из грунтов, находящихся в основании старого шламонакопителя, а также продолжающимися утечками технологических и сточных вод на территории завода.

Загрязненные хромом подземные воды в значительной мере перехватываются водозабором 3 (см. рис. 7.3), не достигая реки. Последнее обстоятельство и отсутствие других источников технического водоснабжения заставили продолжить эксплуатацию водозабора и подавать хромосодержащую воду на техническое водоснабжение ТЭЦ. После использования эти воды без очистки вначале сбрасывались в русло временного водотока, впадающего в реку, но это вызвало появление хрома в реке на протяжении 15 км ниже промзоны. Поэтому позже отработанные воды с ТЭЦ сбрасывались в гидрозолоотвал, размещенный на первой надпойменной террасе. Поскольку концентрация хрома в отработанных водах составляла десятки миллиграммов в литре воды, гидрозолоотвал превратился во вторичный источник загрязнения подземных вод, вызвавший загрязнение хромом водозабора.

Кроме того, складываемая в гидрозолоотвале зола, содержащая большое количество хрома, в теплый период года развевалась ветром на большие расстояния, что служило причиной дополнительного загрязнения подземных вод и почв на участках, удаленных от химического завода. Загрязненные подземные воды распространились на площади около  $12 \text{ км}^2$ , причем наибольшее количество хрома в водоносном пласте находилось на

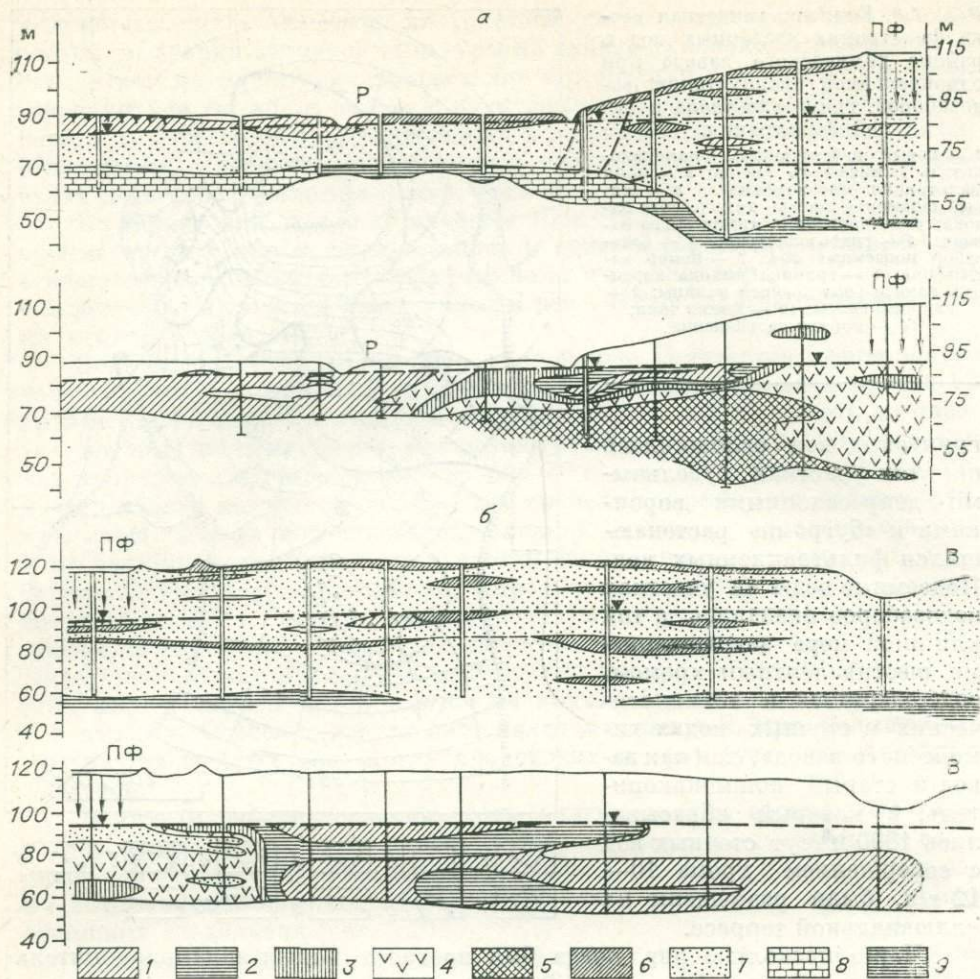


Рис. 7.4. Гидрогеологические и гидрогеохимические разрезы на участке расположения полей фильтрации завода синтетического каучука.

а — от полей фильтрации (ПФ) к реке (Р); б — от полей фильтрации к водозабору (В), расположенному выше по потоку подземных вод. На гидрогеохимическом разрезе концентрации ПАВ, мг/л: 1 — от 0,1 до 1; 2 — от 1 до 10; 3 — от 10 до 100; 4 — от 100 до 200; 5 — >200. На гидрогеологическом разрезе: 6 — суглинки; 7 — пески; 8 — известняки; 9 — глины.

территории химического завода, гидрозолоотвала и старого шламонакопителя. Здесь в отдельных скважинах вода содержит до 2500 мг/л хрома. Общее количество хрома, накопившегося в подземных водах, составляет по расчетам около 1500 т. Присутствие в подземных водах шестивалентного хрома исключает возможность использования водозаборов для хозяйственно-питьевых нужд и затрудняет, а иногда делает невозможным использование их в технических целях. Имеется опасность распространения загрязненных хромом вод по водоносному пласту на новые участки, находящиеся ниже по потоку от гидрозолоотвала.

Распространение поверхностно-активных веществ (ПАВ) в грунтовых водах на участке полей фильтрации завода синтетического каучука изображено на рис. 7.4. Неочищенные сточные воды завода совместно с хозяйственно-бытовыми сточными водами в течение 18 лет направлялись на поля фильтрации, размещенные вблизи реки на левобережной низкой аллювиальной террасе. Основными органическими примесями, загрязняющими сточные воды цехов производства каучука, являются не полностью прореагировавшие и не полностью удаленные от латекса мономеры и главным образом различные эмульгаторы. Некоторые эмульгаторы (жирнокислые мыла, щелочные соли смоляных кислот модифицированной

канифоли и др.)<sup>\*</sup> в определенных условиях способны к биохимическому окислению, другие же (некаль, лейканол и др.) не поддаются биохимическому распаду.

При устройстве полей фильтрации предполагалось, что сточные воды здесь подвергнуты естественной биологической очистке. Однако, как показали наблюдения, содержащиеся в сточных водах химические вещества без существенного изменения состава поступали в водоносный горизонт и распространялись в направлении к водозаборам и реке. Очистка затруднялась тем, что нагрузка на карты полей фильтрации составляла 200—300 м<sup>3</sup>/га в сутки вместо 73 м<sup>3</sup>/га в сутки по проекту. Главное препятствие заключалось в том, что в составе сточных вод имелись плохо окисляющиеся вещества и в целом минерализация стоков была повышенной.

Непосредственно вблизи полей фильтрации располагаются пять водозаборов. Поток подземных вод находится под влиянием двух крупных водозаборов. В период интенсивного сброса сточных вод на поля фильтрации уровень подземных вод под этими полями повышался на 3—4 м, и здесь создавался «бугор» растекающихся вод. Разрыв сплошности течения и «дождевания» сточных вод через зону аэрации способствовала коагуляция песков в основании полей фильтрации взвешенными и эмульгированными веществами при фильтрации сточных вод через верхние 10—15 см песчаной толщи. В районе полей фильтрации сформировался большой ареал загрязнения подземных вод, который вышел далеко за пределы полей фильтрации. В результате этого пришлось ликвидировать заводские водозаборы; ухудшилось качество воды и в городском водозаборе, расположенном на противоположном берегу реки.

Наиболее загрязненными оказались подземные воды, находящиеся непосредственно под полями фильтрации и вблизи них. Здесь вся песчаная толща содержит сточные воды. Общая минерализация достигает 3500 мг/л, концентрация хлоридов — 1300 мг/л, сульфатов — 600 мг/л. Появились, кроме того, специфические компоненты производства синтетического каучука; в частности, поверхностно-активные вещества (некаль — 300—500 мг/л, лейканол, стирол, трилон Б и др.). Высокие значения сухого остатка (до 2 г/л) сохраняются в нижней части водоносной песчаной толщи вплоть до поймы долины и переходят на правый берег реки, где находится действующий городской водозабор. Отчетливо проявилась гидрогеохимическая дифференциация подземных вод в вертикальной плоскости.

Основная часть сточных вод перемещалась от полей фильтрации по средней и нижней частям водоносного пласта; верхняя часть потока заметно опреснена (сухой остаток 120—200 мг/л). Городской водозабор после 14 лет работы оказался загрязненным некалем в количестве до 1,5—2 мг/л. Переходу загрязнений на правый берег способствовало заметное несовершенство связи водоносного горизонта с рекой из-за широкого развития глинистых отложений в русле и на пойме и слабой врезки реки в аллювиальные отложения. Все это благоприятствовало «проскоку» загрязненных подземных вод под руслом реки сначала по известнякам, а позже и по аллювию.

Случаи интенсивного загрязнения подземных вод при фильтрации из шламохранилищ, в которых складываются отходы калийного производства, описали Е. Я. Алексеенко, Е. Е. Керкис [1976] и др. О загрязнении подземных вод органическими веществами сообщил Дж. Б. У. Дей [Groundwater..., 1974]. В рассматриваемом районе промышленные предприятия размещены на ледниковых гравийных отложениях, подстилаемых водоносным мелом. В 1969 г. утечка технологических и сточных вод на территории предприятий привела к загрязнению подземных вод в районе водозаборных скважин. В составе подземных вод были обнаружены различные органические вещества, главным образом кетоны и спирты, повышенное содержание натрия и калия. Обследование предприятий показало, что утечка происходила из неисправных канализационных труб

и емкостей, в которых хранились органические растворы. После ремонта этих коммуникаций и сооружений более года проводилась откачка загрязненных подземных вод, в результате содержание загрязнений в воде заметно снизилось.

Локальные участки загрязнения подземных вод часто встречаются вблизи складов горючесмазочных материалов, автозаправочных станций, свалок хозяйственно-бытовых отходов, в которых складываются твердые промышленные и хозяйственно-бытовые отходы на поверхности земли, в выработанных карьерах, в понижениях рельефа. В последние годы в районах городских свалок проведены специальные гидрогеологические и гидрохимические исследования, однако оценка их влияния на загрязнение подземных вод получилась неоднозначной. В районе Франкфурта (ФРГ) в 1967—1973 гг. на трех участках складирования промышленных отходов (мусор, осадки после очистки сточных вод, строительные отходы и др.) изучено содержание в подземных водах мышьяка, свинца, меди, цинка, кадмия, хрома, никеля, ртути, серебра, органических веществ и других компонентов [Golweg *et al.*, 1977]. На этих участках грунтовые воды, залегающие в четвертичных песках и гравии, имеют скорость движения всего  $\sim 1$  м/год. В таких условиях уже на расстоянии 150—200 м от источника загрязнения подземные воды содержат названные компоненты в безопасных количествах. Качество воды улучшается вследствие разбавления загрязнений в водоносном пласте, а также в результате геохимических и биологических процессов, протекающих при участии воздуха, поступающего из зоны аэрации. По мере удаления вниз по потоку от очага загрязнения изменяется концентрация растворенного кислорода и соответственно развиваются зоны с анаэробными и аэробными микроорганизмами. Кратковременность наблюдений не позволила сделать выводы о длительности существования ареала загрязнения после прекращения сброса отходов.

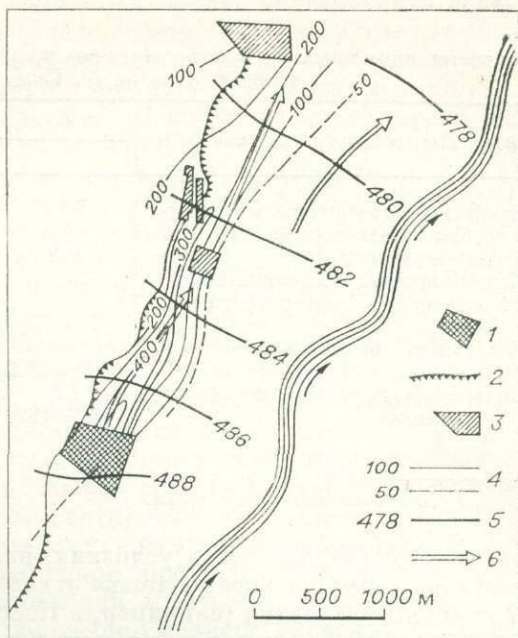
Для оценки влияния санитарных свалок на качество подземных вод были проведены детальные гидрогеохимические исследования в районе г. Перт в Западной Австралии [Bestow, 1977]. Городская санитарная свалка, действующая с 1962 г., размещена в 8 км от города на частично осушенных болотах и занимает 32 га. На свалку свозят домашние отбросы и строительный мусор; до 1970 г. сбрасывали также промышленные и хозяйственно-бытовые сточные воды. В основании свалки залегают торф и глины, а ниже — водоносные пески и известняки. Системой шурфов и наблюдательных скважин глубиной от 4 до 37 м отбирались пробы воды под свалками и вблизи них в течение трех лет. По точечным пьезометрам изучены напоры и картина фильтрации подземных вод в разрезе пласта по сезонам года, составлен водный и гидрохимический баланс, детально изучено изменение концентрации различных компонентов химического состава подземных вод в районе свалки во времени и по площади. Вблизи свалки отмечено повышенное содержание в подземных водах хлоридов натрия, калия, железа, аммония, фосфора, фенолов. Вместе с тем установлено, что вследствие сорбции загрязнений в торфах и разбавления загрязнений в основном водоносном горизонте концентрация загрязнений не превышает приемлемого уровня.

В отличие от описанных случаев известны примеры развития значительных ареалов загрязнения от свалок, размещенных на более проницаемых отложениях. Так, в Сев. Делавэре в США [Lindorff, 1979] свалка твердых отходов вызвала загрязнение основного регионально развитого водоносного горизонта и повлияла на муниципальное и промышленное водоснабжение.

По наблюдениям геологической службы Баварии (ФРГ), загрязнения от свалки хозяйственно-бытовых и промышленных отходов, действующей с 1954 г., распространились по потоку грунтовых вод на расстояние не менее 3000 м (рис. 7.5) [Groundwater..., 1974]. На участке свалки песчано-гравелистые отложения четвертичного возраста имеют мощность от 1 до  $\frac{1}{4}$  м; почвенный слой под свалкой удален, скорость грунтового потока

Рис. 7.5. Загрязнение подземных вод в районе свалки хозяйственно-бытовых и промышленных отходов [Groundwater..., 1974].

1 — свалка отходов; 2 — граница террасы; 3 — площадь застройки; 4 — изолинии содержания хлоридов, г/л; 5 — гидроизоглипсы; 6 — направление потока подземных вод.



5—10 м/сут, уклон — 0,0025—0,004. Под свалкой и ниже по потоку изменяется цвет подземных вод, в них появляется запах, возрастает температура от 7—10 до 19—24°C, увеличивается содержание хлоридов — от 20—34 до 650 мг/л, аммония — от 0,9 до 275 мг/л, органических веществ (перманганатная окисляемость возросла от 5—12 до 790 мг/л O<sub>2</sub>). В водоносном горизонте в районе свалки по направлению потока выделены зоны: восстановительная, переходная и окислительная.

Аналогичные зоны выделены при изучении изменения химического и изотопного состава подземных вод под влиянием растворов, образующихся при выщелачивании отходов на свалке вблизи г. Уилмингтона (США) [Baedeker, Bask, 1979]. Складирование промышленных и городских отходов и сточных вод проводится здесь в отработанный песчано-гравийный карьер. Анаэробная, промежуточная и окислительная зоны выделены по характеру распределения и широкой степени изменения в подземных водах концентрации кислорода и метана; расположение фронта миграции растворов установлено по степени перехода азота в нитраты.

Загрязнение подземных и поверхностных вод на участке свалки городских и промышленных твердых отходов, а также шлама с установки по очистке сточных вод кожевенных заводов установлено вблизи г. Секо (штат Мэн, США) [Atwell, Parker, 1977]. Участок свалки сложен сверху мелкими песками мощностью до 8 м, ниже залегают глины. При устройстве котлованов для складирования отходов на отдельных участках были вскрыты грунтовые воды. Участок использовался под свалку около 15 лет, высота ее достигла 10 м. Гидрогеологические изыскания начаты после того, как заметили ухудшение качества воды в расположенных в районе свалки родниках и отдельных водозаборных скважинах. Под свалкой установлен «бугор» грунтовых вод, растекание которого происходило в направлении к двум водотокам. Результаты химического анализа подземных и поверхностных вод приведены в табл. 7.2.

Высокая концентрация хрома и цинка определяется выносом этих веществ из отходов и шлама; увеличение содержания в воде железа и марганца предположительно связано с выносом этих элементов из пород в восстановительных условиях, создающихся под свалками. Отмечены значительные колебания степени загрязнения поверхностных и подземных вод во времени в зависимости от изменения интенсивности выпадения атмосферных осадков, величины поверхностного стока и глубины залегания грунтовых вод.

Обобщение материалов гидрогеологических изысканий, выполненных в США для оценки загрязняющего влияния свалок твердых отходов, показало [Lindorff, 1979], что в аридном климате (например, в Калифорнии и др.) свалки, размещенные выше уровня грунтовых вод, не ухудша-

Качество подземных и поверхностных вод в районе свалки городских и промышленных твердых отходов (г. Секо, штат Мэн, США)

Изученные объекты и значения ПДК	Железо	Марганец	Хром	Аммоний, мг/л азота
	мг/л			
Предельное содержание в соответствии со стандартом США на питьевую воду	0,3	0,05	0,05 *	—
Незагрязненные подземные воды	0,1	0,025	0,01	0,1—0,2
Загрязненные поверхностные воды	50—75	1—25	0—0,05	5—10
Подземные воды под участком свалки	300—1500	20—300	0,1—2,0	50—100
Подземные воды вниз по потоку от участка	200—1900	6—100	0,1—0,3	1—25

\* Для шестивалентного хрома.

ли их качества, так как в условиях, когда испарение превышает осадки, растворы, образующиеся в толще отходов, не достигают грунтовых вод. В гумидных условиях (например, в Пенсильвании, Иллинойсе) загрязненные растворы из свалок поступают в грунтовые воды во всех случаях, причем скорость формирования растворов почти не зависит от того, складываются отходы выше или ниже уровня грунтовых вод. Дальность миграции загрязняющих веществ в водоносном пласте определяется его литологическим составом и водопроницаемостью. В мелкозернистых, глинистых породах скорость миграции существенно ограничена явлениями физико-химического обмена, адсорбции и т. д.

Наблюдения на участках складирования отходов угледобычи проведены вблизи г. Стаунтон, штат Иллинойс, США [Schubert e. a., 1978]. В водах, дренирующихся из отвалов на участках их складирования, установлены низкие значения рН и высокие концентрации растворенных металлов и сульфатов, что сказывается на составе воды в ручьях и р. Кахок, особенно в периоды повышения их уровня после интенсивного выпадения атмосферных осадков. В остальное время большинство выносимых из отвалов веществ, в том числе растворенные металлы, осаждаются в руслах малых водотоков и не поступают в реку. На расстоянии до 120 м от отвалов отмечено ухудшение качества неглубокозалегающих подземных вод, проявляющееся в увеличении содержания сульфатов, металлов, рН. С удалением от отвалов в результате дисперсии, адсорбции, ионного обмена, осадки качества подземных вод улучшается.

Большие ареалы загрязнения подземных вод наблюдаются при складировании твердых отходов в отработанных карьерах, вскрывающих породы с высокой водопроницаемостью. Так, в Южном Эссексе (Англия) [Groundwater..., 1972] промышленные отходы часто размещались в отработанных гравийных и меловых карьерах, что вызвало загрязнение нескольких водозаборных скважин.

Исключительно неблагоприятные последствия вызывает сброс сточных вод в отработанные карьеры. Так, водоносный горизонт в базальтах вблизи Футскрей (Виктория, Австралия) [Riha, 1976] был загрязнен в результате фильтрации фенолсодержащих сточных вод, сбрасываемых в отработанные карьеры химическими предприятиями. Химические анализы проб воды из 12 наблюдательных скважин показали, что загрязненные воды движутся в базальтах по верхнему и нижнему водоносным горизонтам. Ареал загрязнения подземных вод имеет ширину около 1 км и длину более 4,5 км. В верхней части пласта содержание фенолов в 1971 г. достигало 608 мг/л. После введения в строй в 1974 г. очистных сооружений сброс сточных вод в карьеры прекратился; это способствовало сни-

жению концентрации фенолов до 465 мг/л, однако загрязнения, поступившие со сточными водами ранее (фенолы, детергенты и другие химические вещества), останутся в пласте надолго.

На сельскохозяйственных территориях локальными источниками химического и биологического загрязнения подземных вод являются животноводческие фермы и комплексы, склады удобрений и ядохимикатов, силосные ямы. В сточных водах животноводческих комплексов и ферм содержится много азота, фосфора, калия, есть гельминты, может быть столбнячная палочка и другие болезнетворные микроорганизмы. При гидравлическом удалении больших количеств навоза в навозохранилищах возникает опасность загрязнения подземных и поверхностных вод. Использование этих сточных вод для орошения требует предварительной очистки и контролируемого, нормируемого использования во избежание загрязнения подземных вод азотом и другими веществами. В связи с этим для крупных животноводческих комплексов очистка, обезвреживание и использование сточных вод представляют сложную задачу.

Загрязнение подземных вод силосными отходами охарактеризовано в работе «Groundwater pollution in Europe» [1972]. В одной из статей описан случай загрязнения родников, каптировавших подземные воды известняков карбона и использовавшихся для водоснабжения района. В указанных родниках были обнаружены споры ликоподия, поступившие в водоносный пласт из небольших понижений в рельефе, находящихся примерно в 700 футах от них. В эти понижения фермеры сбрасывали жидкие силосные отходы. Родниковая вода приобрела плохие бактериологические показатели, ощущался запах силоса, а при хлорировании появлялся хлорфенольный привкус. После исследования района и установления причин загрязнения подземных вод сброс отходов в понижения был прекращен.

Локальные участки загрязненных подземных вод возникают также при сбросе сточных вод в поглощающие скважины, размещенные в водоносном горизонте. Так, в Майами (Флорида, США) необработанные сточные воды со скотобойни сбрасывались через скважины в бискайский водоносный горизонт, сложенный закарстованными известняками и являющийся источником централизованного водоснабжения. В г. Камилла (Джорджия, США) креозот, фенолы и другие органические вещества сбрасывались в скважины, вскрывающие водоносный горизонт в известняках, используемый для водоснабжения всей южной части Джорджии и Флориды (США) [Sever, 1979].

Довольно часто причиной загрязнения пресных подземных вод становится переток минерализованных вод по стволу глубоких дефектных скважин, заложенных для добычи нефти, газа, поддержания пластового давления [Расновская, 1980].

Возможность загрязнения подземных вод на больших глубинах при подземной газификации угля определяется гидрогеологическими условиями. На изученном опытном участке подземной газификации угля в Вайоминге (США) [Campbell et al., 1979] сверхфоновые концентрации изученных компонентов воды (70 неорганических веществ, фенолы, летучая и полуметучая органика) наблюдались не далее 30 м от зоны горения.

При открытой и подземной добыче угля загрязнение подземных вод вызывается в основном откачиваемыми минерализованными шахтными водами. На участках размещения отстойников и накопителей происходит непосредственная фильтрация этих вод в водоносный горизонт, создающая локальный участок загрязнения. Сброс шахтных вод в реки — круглогодичный или в паводок — приводит к ухудшению качества воды в прибрежных водозаборах. Помимо названных выше существуют и другие источники локального загрязнения, например утечки сточных и технологических вод из отдельных цехов промпредприятий и др.

### 7.3. РЕГИОНАЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

При региональном загрязнении ухудшение качества подземных вод наблюдается на большой площади, при этом могут быть загрязнены не только верхний, но и нижележащие водоносные горизонты. Можно выделить два основных типа регионального загрязнения подземных вод, различающихся характером источников загрязнения и составом загрязняющих веществ. Первый приурочен к урбанизированным территориям с большой концентрацией городов и промышленных предприятий, второй — к территориям интенсивного сельскохозяйственного производства. Общая черта выделенных типов — множественность отдельных локальных источников загрязнения, в совокупности образующих площадной его характер.

В крупных промышленных районах и зонах сосредоточения предприятий химической, металлургической, горнодобывающей, нефтеобрабатывающей и других видов производств загрязнение подземных вод вызывается многообразными причинами. Наиболее частыми из них являются более или менее постоянные утечки и случайные разливы сточных и технологических вод из цехов, коммуникаций, различных емкостей для хранения сырья и продуктов производства.

Величина утечек и интенсивность инфильтрации воды из систем водопровода и канализации особенно велики в «водоемких» производствах [Рекомендации..., 1976] (табл. 7.3).

Значительные участки загрязненных подземных вод образуются на промышленных площадках при фильтрации из шламо- и хвостохранилищ, отстойников, испарителей и других земляных емкостей, накапливающих сточные воды и отходы, а также вследствие растворения и выноса солей атмосферными осадками из свалок твердых отходов производства, отвалов руды, пустой породы и др.

Большую роль в загрязнении грунтовых вод играют газодымовые выбросы предприятий и теплоэнергетических установок, поступающие в воздушный бассейн, в почву и выпадающие на поверхность земли. Тепловые электростанции выбрасывают в атмосферу громадные количества золы, серный и сернистый ангидрид; автомобили выбрасывают двуокись углерода, углеводороды, окислы азота. Состав газодымовых выбросов промышленных предприятий еще более разнообразен, а суммарное их количество грандиозно. Многие из названных веществ соединяются с атмосферной влагой и выпадают на поверхность земли; если в районе предприятия с большими газодымовыми выбросами подземные воды не имеют водоупорной кровли, то все эти вещества вместе с атмосферными осадками поступают в водоносный пласт и вызывают изменения химического состава воды.

Сброс в реки неочищенных промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод, а также минерализованных шахтных, дренажных вод — достаточно частое явление на территориях с высокой концентрацией промышленности. Поэтому фильтрация загрязненных речных вод — еще один источник загрязнения водоносных горизонтов и водозаборов на участках, примыкающих к таким рекам. Пример загрязнения подземных вод, получающих питание из реки, приведен в работе Ф. М. Бочевера и др. [1979].

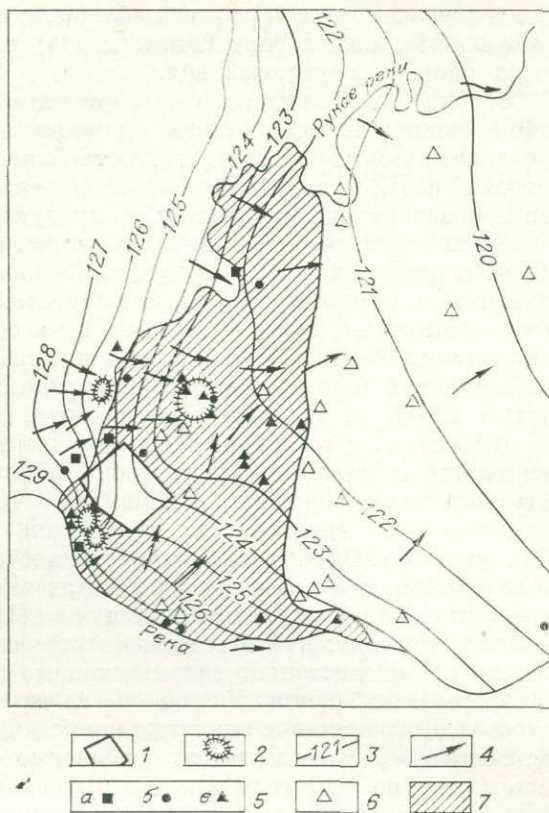
Т а б л и ц а 7.3

Инфильтрация воды на промышленных площадках

Отрасли промышленности	Ориентировочная среднегодовая интенсивность инфильтрации в грунтовые воды, м/сут
Энергетическая, целлюлозная	$(5-10) \cdot 10^{-4}$
Металлургическая, нефтехимическая, химическая	$(3-5) \cdot 10^{-4}$
Горно-обогатительная, машиностроительная, станкостроительная	$(1-3) \cdot 10^{-4}$
Текстильная, легкая, стройматериалов, пищевая	$(<1) \cdot 10^{-4}$

Рис. 7.6. Загрязнение подземных вод нефтепродуктами.

1 — территория нефтехимического предприятия; 2 — групповые водозаборы подземных вод; 3 — гидроизоглипсы; 4 — направление потока грунтовых вод; 5 — колодцы и скважины наблюдательной сети, в которых обнаружены нефтепродукты, мг/л: а — > 1, б — > 0,1, в — < 0,1; 6 — скважины и колодцы, в которых нефтепродукты не обнаружены; 7 — площадь загрязнения подземных вод.



На обширной площади левобережной поймы реки между главным ее руслом и рукавом (рис. 7.6) распространен водообильный горизонт грунтовых вод в толще аллювиальных валунно-, гравийно-галечных и песчаных отложений неогенового и четвертичного возраста. Мощность водоносных отложений изменяется от 10—15 м на северо-востоке до 100 м и более на юго-западе. Значительная мощность и высокая проницаемость отложений создают благоприятные условия для формирования потока грунтовых вод, основным источником питания которых служит фильтрация речной воды из главного русла реки, а также из рек, расположенных севернее рассматриваемого участка.

Подземные воды используются тремя групповыми водозаборами, имеющими производительность от 100 до 500 л/с, а также многочисленными отдельными скважинами, начато строительство водозаборов для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Эффективному использованию подземных вод района препятствует их загрязненность, обнаруженная не только в районе нефтехимического комбината, но и вдоль реки и ее левобережного рукава, ниже города. Загрязнения поступают в водоносный пласт главным образом из левобережного рукава, в который сбрасываются все недостаточно очищенные сточные воды города, в том числе с промышленных предприятий — нефтехимического комбината, химического и электротехнического заводов. В сточных водах нефтехимического производства, сбрасываемых с расходом 250 л/с, содержание нефтепродуктов изменяется в течение суток от 300 до 5400 мг/л, бихроматная окисляемость (ХПК) — от 420 до 550 мг/л  $O_2$ ; в сточных водах химического завода ХПК равно 500—1000 мг/л  $O_2$ ; содержание сульфатов — более 2000 мг/л; расход этих вод на сброс в реку составляет 600 л/с.

Повышенное количество нефтепродуктов, а также бактериальная загрязненность в подземных водах установлены на площадке нефтехимического комбината, где имеется утечка сточных вод и технологических растворов. Загрязненные воды с этой территории частично перехватываются вторым водозабором, вода которого из-за этого применяется только для технических нужд. Использование загрязненных подземных вод для орошения влечет за собой дополнительное ухудшение качества грунтовых вод, в которых увеличивается концентрация сульфатов, хлоридов, нитратов, натрия и появляются нефтепродукты. По данным контрольного опробования, загрязнение распространилось в водоносном пласте на несколь-

ко километров; растворенные нефтепродукты содержатся по всей мощности пласта, а эмульгированные (масла) собираются в его верхней части и над уровнем грунтовых вод.

Загрязнение водоносного горизонта в крупном промышленном районе видно на следующем примере [Бочевер и др., 1979]. Комплекс химических производств, потребляющих большое количество технической воды, был размещен в долине реки еще в конце XIX в. Предприятия производят анилинокрасочную продукцию, аммиак, удобрения и ядохимикаты для сельского хозяйства, пластмассы и многие другие органические и неорганические продукты. Содовый завод выпускает кальцинированную и каустическую соду, хлористый аммоний и др. Промышленные предприятия, а также их очистные сооружения, шламоотстойники, накопители, сбросные каналы расположены на пойме и широкой низкой аллювиальной террасе левого берега реки. Под песчаным аллювием мощностью 10—15 м залегает трещиноватый мел верхнемелового возраста.

В аллювии и в верхней трещиноватой зоне мела (мощность 25—50 м) содержатся подземные воды, широко используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения предприятий и городов района, для чего здесь построено 15 водозаборов суммарной производительностью около 280 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Однако из-за загрязненности подземных вод промышленными стоками и отходами не вся получаемая вода может быть использована для хозяйственно-питьевых нужд. Из 15 водозаборов только пять дают чистую воду; в четырех вода имеет следы загрязнения, а в остальных шести она настолько загрязнена, что потребляется лишь для технического водоснабжения. Ухудшение качества подземных вод в районе началось одновременно с эксплуатацией химических предприятий, когда промышленные сточные воды, независимо от их токсичности, сбрасывались в реку по открытым каналам, проложенным в песках, а твердые отходы захоронялись непосредственно на территории заводов или вблизи них.

Позже было построено три накопителя, из которых сточные воды в паводок сбрасывались в реку. Все накопители были сооружены без противофильтрационной защиты, вследствие чего из них, а также из канала в подземные воды и грунты вносилось в сутки более 1600 т химических веществ, в том числе (т): хлоридов 968, натрия и калия 238, кальция 342, сульфатов 22, аммиака 0,8, аминопродуктов 0,126, фенолов 0,081, нитропродуктов 0,016.

Большую опасность для подземных вод рассматриваемого района представляют, кроме того, утечки технологических растворов и промстоков из канализационных сетей на промплощадках, а также растворение заводских отходов на участках старых приповерхностных захоронений вблизи промплощадок, газодымовые выбросы промышленных предприятий. С последними в атмосферу попадает около 1000 т/сут веществ, в том числе сульфит и сульфат натрия, сернистый ангидрид, хлорбензол, метанол, нафталин, аммиак, окись углерода и др. На поверхность земли из газодымовых выбросов возвращается около 48 т веществ, остальные улетучиваются. В загрязнении прибрежных водозаборов участвуют речные воды, также загрязненные промышленными стоками. В соответствии с разработанными для этого района показателями интенсивности загрязнения (табл. 7.4) были построены карты общего загрязнения подземных вод. На территории промплощадок преобладает загрязнение органическими компонентами, в районе наиболее крупного накопителя — минеральными компонентами. При этом органические загрязнения концентрируются в наиболее водопроницаемой части комплекса на глубине до 20—30 м от поверхности; высокоминерализованные растворы с большой плотностью, фильтрующиеся из накопителя, опускаются на глубину до 80—90 м от поверхности и растекаются во все стороны от него.

Анализ гидрогеологической обстановки показывает, что естественными факторами, способствующими здесь загрязнению подземных вод, являются открытость, незащищенность водоносного комплекса на большой площади песчаных террас, лишенных глинистого покрова, а также

Показатели интенсивности загрязнения подземных вод промышленными стоками и отходами

Компонент, мг/л	Воды				
	чистые естественного состава	со следами загрязнения	загрязненные	сильно загрязненные	максимально загрязненные
Cl <sup>-</sup>	10—100	100—350	350—750	750—1000	>1000
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Следы — 50	50—500	500—750	750—1000	>1000
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0—10	10—15	15—50	50—100	>100
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0—0,1	0,1—0,3	0,3—1	1—10	>10
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0 — следы	Следы — 1	1—5	5—10	>10
Аминоподпродукты	0	0,01—0,1	0,1—0,5	0,5—5,0	>5
Нефтепродукты	0	0,01—0,5	0,5—1	1—25	>25
Фенол	0	0,01—0,1	0,1—0,3	0,3—1,0	>1

маломощная, с «окнами», слабопроницаемая кровля мела. В этих условиях все загрязнения, которые захватываются атмосферными осадками из воздуха, почвы и грунтов зоны аэрации, попадают в водоносный горизонт. Распространению загрязнений в водоносном горизонте за пределами промплощадок и накопителей способствовали: водоотбор из эксплуатационных скважин, расположенных в районе очагов загрязнения; повышение уровня подземных вод на участках интенсивной инфильтрации сточных вод («купола растекания»); осушение аллювия в районе водозаборов на заводских площадках.

В рассматриваемом районе в течение года происходит, таким образом, круговорот сточных вод (сброс промышленных стоков в накопители, фильтрация стоков в водоносный горизонт, извлечение загрязненных вод водозаборами для технических нужд, опять сброс в накопители), частично завершающийся в паводок сбросом стоков из накопителей в реку. При этом сохраняется загрязненность реки и подземных вод района и расширяются очаги загрязнения в водоносном пласте, что угрожает оставшимся чистым водозаборам.

В районах размещения неканализованных населенных пунктов и городов развивается бактериальное загрязнение подземных вод, которое в отдельных случаях может приобрести региональный характер. Так, например, на о. Лонг-Айленд (США), где септики и выгребные ямы широко применялись с 1910 г., впоследствии пришлось отказаться от использования для водоснабжения верхнего флювиогляциального водоносного горизонта из-за его бактериального загрязнения.

Специфической причиной развития регионального загрязнения подземных вод может стать широкое применение солей-антиобледенителей на дорогах. Именно с этим связывают американские исследователи увеличение минерализации подземных вод в ряде районов и характеризуют данный источник загрязнения как площадной.

В районах нефтедобычи региональное загрязнение подземных вод происходит из-за разрывов трубопроводов, транспортирующих нефть и минерализованные сточные воды, фильтрации из прудов-накопителей сточных вод, из-за дефектных скважин, нагнетающих минерализованные сточные воды для поддержания пластового давления и др. [Расновская, 1980].

На сельскохозяйственных территориях региональное загрязнение подземных вод обычно проявляется в повышении общей минерализации за счет увеличения количества водорастворимых солей, главным образом хлоридов и сульфатов; сверх ПДК часто увеличивается содержание фтора, марганца; возможно появление специфических, часто токсичных веществ, входящих в состав химических средств защиты растений (инсектицидов,

фунгицидов, гербицидов, дефолиантов, десикантов), — мышьяка, фтора, меди, цинка и др.

Повышение минерализации грунтовых вод при орошении сельскохозяйственных земель в условиях аридного климата — широко распространенное явление во многих странах мира. В СССР оно наблюдается в республиках Средней Азии, Закавказье, Молдавской ССР, на юге Украины, т. е. в районах, где на орошаемых массивах грунтовые воды формируются в основном за счет фильтрационных потерь поверхностного стока и поливных вод. Повышенную минерализацию здесь имеют грунтовые воды, воды в коллекторно-дренажной сети и в реках, куда сбрасываются дренажные воды, например, на орошаемых массивах Шерабаз-Сурхандарьинской межгорной впадины; по мере роста площадей орошаемых территорий и протяженности коллекторно-дренажной сети возрастает минерализация и в р. Сурхандарья, собирающей засоленные возвратные воды с орошаемых территорий. По этой же причине в последние годы даже в такой многоводной реке, как Амударья, минерализация воды в отдельные сезоны повышается.

В свою очередь это определяет повышенную минерализацию подземных вод в береговых (инфильтрационных) водозаборах, расположенных на берегах реки и привлекающих ее воды.

Региональное увеличение минерализации подземных вод, связанное с развитием орошения, изучено в бассейне р. Колорадо [El-Aschry, 1980]. Здесь на большей части орошаемых земель формирование подземных вод в основном связано с фильтрацией воды на площадях орошения, из ирригационных каналов и дренажных коллекторов. Вынос солей из почв и привнос их с оросительными водами, а также интенсивное испарение вызывают засоление почв, увеличение минерализации грунтовых вод и вод коллекторно-дренажной сети, сбрасываемых в реки. Вследствие этого общее количество солей, поступающих в нижнее течение р. Колорадо с дренажными водами и подземным стоком, исчисляется примерно в 10 млн. т в год. Засоление орошаемых земель в отдельных участках бассейна неодинаково; к быстро засоляющимся районам относится долина Гранд-Вэлли в западной части Колорадо, где количество солей в почвах увеличивается на 20 т/га в год. Из р. Колорадо для орошения 28 тыс. га земель этой долины поступает ежегодно  $18 \cdot 10^7$  м<sup>3</sup> воды, с которой вносится 690 тыс. т солей. В результате инфильтрации засоленных вод реки общая минерализация подземных вод основного водоносного горизонта изменяется от 1,5 до 9 г/л, составляя в среднем 4,1 г/л, а в аллювиальном горизонте — от 0,3 до 124 г/л, что в среднем дает 11,5 г/л; сбрасываемые в реку промышленные и дренажные воды имеют минерализацию 4,2 г/л.

Орошение в долине Гранд-Вэлли отличается низким коэффициентом использования воды при поливе (~35%) и большими потерями ее на фильтрацию из необлицованных магистральных и распределительных каналов; основной способ орошения — полив по бороздам, при котором расходуется значительно больше воды, чем это требуется для развития растений. Полевые наблюдения показали, что 23% подземного возвратного стока образуется в результате фильтрации воды из магистральных каналов, 32% — за счет фильтрации из распределительных каналов, 45% составляют потери воды на полях из мелкой оросительной сети.

Изучение химического состава подземных вод в районе развивающегося орошения земель проведено в округе Холт [Небраска, США] [Ehner, Spalding, 1979]. Источниками орошения служат речные воды, а также подземные воды песчано-гравелистых отложений. Наблюдения за химическим составом последних проводились по 272 скважинам, используемым для орошения и водоснабжения. За период 1972—1976 гг. по мере расширения площадей орошения отмечалось постоянное нарастание минерализации подземных вод, при этом скорость увеличения концентрации отдельных веществ составила (мг/л·год): для хлоридов — 0,44; для сульфатов — 4,92; для нитратов — 0,57. Авторы полагают, что

в грунтовые воды выносятся около 50% применяемых азотных удобрений. В скважинах, размещенных на орошаемых участках, содержание нитратов достигает 135 мг/л, причем максимальные концентрации их отмечаются на участках интенсивного орошения и минимальной мощности водоносного горизонта.

Повышенные содержания в подземных водах нитратов, нитритов и аммония зафиксированы на сельскохозяйственных территориях многих стран. Были проведены детальные исследования причин и характера нитратного загрязнения подземных вод. Из обзора данных по этому вопросу [Singh, Sekhon, 1979] следует, что аккумуляция нитратов характерна главным образом для неглубокозалегających подземных вод при интенсивном использовании на орошаемых площадях удобрений. Вынос азота происходит также из органического вещества почв, навоза, растительных остатков, но роль этих компонентов в загрязнении подземных вод выяснена недостаточно. Интенсивность нитратного загрязнения подземных вод в основном зависит от количества азота, выносимого из удобрений в виде нитратов ниже корнеобитаемой зоны, и от устойчивости нитратов в зоне аэрации и в водоносном горизонте. На вынос нитратов ниже корнеобитаемой зоны влияют количество и сезонное распределение осадков, а также интенсивность орошения и характер растительного покрова. В зоне аэрации и в водоносных пластах нитраты, как правило, устойчивы. Источниками азота на сельскохозяйственных территориях могут быть также сточные воды животноводческих ферм и хозяйственно-бытовые стоки неканализованных населенных пунктов. Так, в сельской местности Бараня (Венгрия) [Banuevacz, 1977], где грунтовые воды служат основным источником водоснабжения, вода загрязнена не только бактериями, но и большим количеством нитратов. В 1973—1975 гг. при обследовании 73 населенных пунктов содержание нитратов в воде колебалось от 1 до 1760 мг/л, при этом в 75% исследованных проб оно превышало 40 мг/л — предел допустимого содержания нитратов по венгерскому стандарту на питьевую воду. Источниками нитратов здесь служат многочисленные выгребные ямы, сточные воды населенных пунктов и животноводческих ферм.

Детальные исследования причин и условий нитратного загрязнения подземных вод были выполнены на Атлантическом побережье округа Суссекс (Делавэр, США) [Robertson, 1979]. Эксплуатируемый водоносный горизонт сложен песками, гравием с прослоями суглинков и глин. Подземные воды горизонта в целом обладают хорошим качеством, однако в значительной части скважин (20%) содержание нитратов превышает норму (45 мг/л); на отдельных участках повышенное количество нитратов имеют 50—70% обследованных скважин. В зависимости от содержания в подземных водах нитратов проведено районирование территории. В выделенных 19 районах с повышенной концентрацией нитратов прослежена связь этого явления с характером использования земель, проницаемостью почв, глубиной залегания подземных вод, гидрохимической обстановкой. Оказалось, что наиболее часто нитратное загрязнение связано с наличием на территории птицеферм, животноводческих ферм; выявлено также влияние сточных вод из септиков, естественных и химических удобрений, инфильтрации загрязненных поверхностных вод.

В Молдавской ССР, где очень развито сельскохозяйственное производство, в подземных водах отмечено высокое содержание нитратов: на 70% территории концентрация нитратов достигает 50 мг/л, причем в некоторых пунктах юга республики она превышает эту цифру и связывается в основном с выносом из удобрений. В Литовской ССР в отдельных пробах грунтовых вод содержание нитратов может достигать 50—350 мг/л [Красильщиков, 1976].

Наряду с азотом из минеральных удобрений в подземные воды может переходить фтор, содержащийся в них в качестве примеси. Так, в суперфосфате и других удобрениях, содержащих фосфор, на 1 т элементного фосфора приходится от 80 до 160 кг фтора. Наблюдения, выполненные

в Молдавской ССР, показали, что за 15 лет применения удобрений содержание фтора в почве увеличилось; возрастание количества фтора было отмечено также и в подземных водах.

Многие исследователи указывают на опасность загрязнения грунтовых вод сельскохозяйственными ядохимикатами, вредными для здоровья человека даже в очень низких концентрациях; в связи с этим ведутся работы по созданию быстроразлагающихся ядохимикатов, их ограничению и нормативному применению. Загрязнение подземных вод на орошаемых сельскохозяйственных территориях особенно опасно, во-первых, из-за площадного характера применения удобрений и ядохимикатов, и, во-вторых, в связи с тем, что подземные воды здесь часто используются многочисленными скважинами децентрализованного водоснабжения, к которым вода быстро привлекается с загрязненных участков.

#### 7.4. МЕХАНИЗМ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТАХ

Анализ загрязнения подземных вод свидетельствует о заметных масштабах этого явления. Загрязнение захватывает водоносные горизонты часто на всю их мощность, особенно при повышенной плотности сточных вод; скорость распространения загрязнений в водоносных пластах, зависящая от гидрогеологических условий, может быть очень большой. В водоносном горизонте вещества-загрязнители могут оставаться длительное время, даже после прекращения действия источника загрязнения. Ликвидация последствий загрязнения подземных вод очень трудна, дорогостояща и не всегда выполнима в техническом отношении.

Для предотвращения загрязнений подземных вод, прогноза их распространения, своевременной ликвидации последствий загрязнения, выбора эффективных защитных мероприятий необходимо знать механизм переноса загрязнений в водоносных горизонтах. По этой проблеме в нашей стране и за рубежом проводятся обширные теоретические и экспериментальные исследования особенно в последние годы. Сводка результатов изучения миграции вещества в пористых средах дана в работах Н. Н. Веригина, Б. С. Шержукова [1969], Я. Бера и др. [1977], Д. Фрида [Fried, 1975], В. Н. Мироненко и др. [1980], А. Е. Орадовской [1982] и т. д.

Как следует из многочисленных наблюдений, загрязнения поступают в водоносный пласт в виде растворов или мелкодисперсных суспензий, содержащих одно или несколько растворенных эмульгированных взвешенных веществ и имеющих часто повышенную минерализацию. Из поверхностных источников (шламохранилищ, промплощадок и т. п.) загрязненные воды проникают в породы по путям вертикальной фильтрации через зону аэрации. После поступления на поверхность водоносного пласта направление и скорость движения загрязненных вод определяются гидродинамической обстановкой, формирующейся при взаимодействии естественного потока подземных вод с потоками, создаваемыми в результате работы водозаборов, дренажей, водопонизительных установок, фильтрации сточных вод из крупных накопителей и т. д.

В зависимости от характера инфильтрации загрязненных вод (постоянная, периодическая), ее интенсивности (определяемой расходом воды на единицу площади инфильтрации), фильтрационной способности почв и пород, наличия естественного или искусственного слабопроницаемого экраняющего слоя в основании шламохранилища или другого поверхностного источника загрязнения, глубины залегания подземных вод и некоторых других факторов загрязненные воды в зоне аэрации перемещаются вниз в условиях полного или неполного насыщения, при свободной или подпертой фильтрации.

Формирование режимов свободной и подпертой фильтрации и методы расчетов фильтрации из поверхностных хранилищ и каналов сточных вод

с учетом влияния работы водозаборов и других активных в гидродинамическом отношении объектов рассмотрены Ф. М. Бочевеком, А. Е. Орадовской [1972], В. М. Шестаковым [1961, 1973] и в работе «Методы фильтрационных расчетов...» [1970]. Приведенные в них расчетные зависимости позволяют определить время достижения сточными водами уровня грунтовых вод; расход сточных вод, фильтрующихся из поверхностного хранилища; скорость движения воды в водоносном горизонте в различных гидрогеологических условиях и др. В водоносном пласте загрязненный раствор, в той или иной мере смешивающийся с чистыми подземными водами, вытесняет их из пор и трещин и передвигается в пласте по направлению общего фильтрационного потока подземных вод. На движение загрязнений в водоносных породах оказывают влияние не только законы фильтрации, но и процессы физико-химического взаимодействия между загрязняющими веществами, подземными водами и породами. К ним относятся физическая и химическая сорбция загрязняющих веществ из раствора на частицах породы; задержание эмульгированных и взвешенных веществ в порах при фильтрации в мелкозернистых породах; молекулярная диффузия; фильтрационная дисперсия; растворение породы под действием загрязненных вод, сопровождающееся появлением в воде новых веществ; газовыделение, теплообмен и многие другие процессы.

Физико-химическое взаимодействие приводит к тому, что при перемещении загрязненных подземных вод в водоносном пласте происходит постепенное изменение их первоначального состава. В результате механической задержки в порах породы, сорбции, осаждения, распада, газовой выделения и других процессов отдельные компоненты частично или полностью удаляются из воды, так что на некотором расстоянии от места поступления загрязнений в пласт их неблагоприятное влияние на качество подземных вод может ослабеть или вообще не ощущаться. Движение в пласте других компонентов может сопровождаться увеличением их концентрации, появлением новых компонентов, например, в результате выщелачивания и выноса веществ из породы, реакций гидролиза и комплексообразования. Вещества, практически не испытывающие физико-химических изменений в подземных водах (так называемые нейтральные, стабильные, неактивные вещества-загрязнители), могут перемещаться в пласте неопределенно долгое время. Поэтому при прогнозах миграции загрязняющих веществ в водоносном пласте, т. е. когда требуется определить скорость движения загрязнений, время прихода на тот или иной участок пласта и их концентрацию на участке, фильтрацию подземных вод следует рассматривать совместно с протекающими при этом физико-химическими процессами.

Таким образом, конечным результатом такого комплексного рассмотрения должна стать оценка изменения количества или концентрации вещества по пути фильтрации и во времени.

Сложность поставленной задачи определяется, во-первых, фильтрационной неоднородностью реальных водоносных пород и разнообразным характером фильтрации в них (поровой, порово-трещинной, чисто трещинной), что, в свою очередь, влияет на условия взаимодействия растворов с породами в различных участках водоносного пласта из-за переменных значений площади контакта между водой и породой, скоростей движения воды и др. Во-вторых, на интенсивность и характер физико-химического взаимодействия влияют количество, состав и концентрации загрязняющих веществ, состав подземных вод, химический и литологический состав вмещающих пород, температурные условия и многие другие факторы. В-третьих, в связи с обычно сложным составом загрязняющих растворов многие из реакций физико-химического взаимодействия протекают в пласте одновременно. Исследование и теоретическое описание физико-химических процессов, одновременно протекающих при фильтрации в неоднородной пористой среде, представляют исключительные трудности. В связи с этим при изучении миграции загрязняющих веществ в водоносных пластах обычно рассматриваются только отдельные компо-

ненты (например, наиболее токсичные или определяющие изменение общей минерализации воды и т. д.), влияющие на качество воды независимо от присутствия других загрязняющих компонентов (что справедливо для разбавленных растворов малой концентрации). Далее оцениваются лишь наиболее значимые процессы физико-химического взаимодействия, заметно сказывающиеся на переносе загрязнений в пласте; выделенные процессы при этом рассматриваются изолированно, часто обобщенно, в схематизированной постановке. Так, в целях схематизации и упрощения прогноза многие обратимые химические реакции при фильтрации загрязненных вод в пласте часто рассматриваются как односторонние и необратимые (например, реакции образования малорастворимого осадка, радиоактивного распада, газовыделения).

Несмотря на то, что химические реакции часто состоят из нескольких элементарных реакций, протекающих последовательно или параллельно и с различной скоростью, обычно рассматривается скорость только одной, наиболее медленной реакции, контролирующей весь процесс; для сорбции, ионного обмена и растворения — это скорость подвода реагирующих веществ к твердой поверхности.

Как и при решении чисто фильтрационных задач, существенно схематизируются геологические и гидрогеологические условия с выделением условно-однородных, слоистых и макронеоднородных толщ; используются предпосылки для возможности усреднения характеристик фильтрационного потока в том или ином направлении, для создания преобладания вертикальной фильтрации в слабопроницаемых прослоях, разделяющих хорошо проницаемые прослойки водоносной системы и т. п. Схематизируются также источники загрязнения, которым придается определенная форма (точечный, линейный, круговой, площадной источник и т. д.), характер действия (постоянный, периодический, одноразовый — «пакетный»), концентрация загрязняющего вещества (постоянная или изменяющаяся во времени по заданному закону). Схематизация фильтрационных и физико-химических процессов позволяет прогнозировать миграцию загрязняющих веществ в водоносных пластах на основе методов, разрабатываемых в подземной физико-химической гидродинамике, теории массы и теплопереноса в пористых средах, и использовать соответствующие исходные дифференциальные уравнения.

С этих позиций рассмотрим основные процессы, влияющие на миграцию загрязнений (см. также Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика; Гидрогеохимия).

1. В водоносных пластах, в которых подземные воды движутся с более или менее заметными скоростями, главным фактором миграции является передвижение загрязнений вместе с потоком — так называемый конвективный перенос.

Принципиально существует возможность распространения загрязнений в водоносном пласте и при отсутствии фильтрационного течения — путем молекулярной диффузии, совершающейся только под действием градиента концентрации вещества в различных точках пласта. Однако, как показывают теоретические исследования и расчеты, это перемещение происходит настолько медленно, что при прогнозах распространения загрязнений в водоносных пластах оно может не учитываться, если речь идет о переносе на расстояния более нескольких метров или о прогнозах на сроки менее 100—200 лет. Молекулярно-диффузионный перенос в горных породах и водоносных пластах представляет интерес в тех случаях, когда рассматриваются очень длительные процессы или малые отрезки пути диффузионного переноса при отсутствии фильтрации или очень малой ее скорости, как, например, отвод загрязняющих веществ в слабопроницаемые слои, находящиеся в кровле, подошве или внутри водоносного пласта.

При конвективном переносе граница между загрязненными и чистыми подземными водами теоретически должна иметь вид резкого, так называемого «поршневого» фронта, перемещающегося со средней скоростью

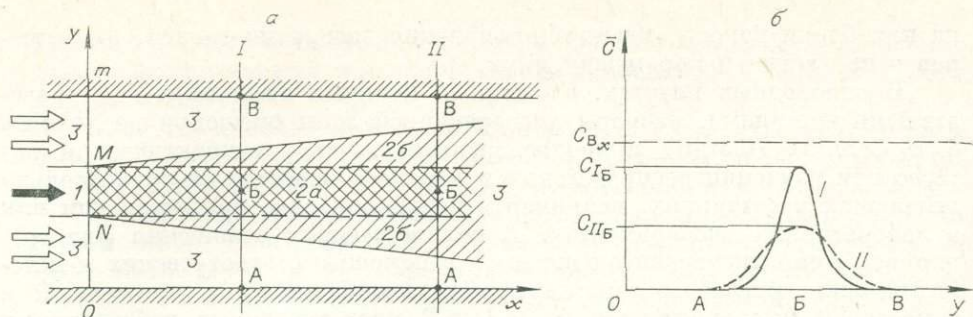


Рис. 7.7. Поперечная и продольная микродисперсия.

$a$  — схема пласта;  $b$  — функция  $\bar{C}(y)$ ; 1 — загрязненные воды;  $2a$  — зона продольной и  $2b$  — поперечной микродисперсии;  $з$  — чистые воды; I, II — сечения пласта.

фильтрационного потока и разделяющего воды с концентрациями вещества  $C_{вх}$  (на входе загрязнений в пласт) и  $C_e$  (фоновая концентрация).

Как показывают натурные наблюдения, поршневой фронт — в известной мере абстрактное понятие. Обычно вместо четкого фронта обнаруживается зона смешения, на протяжении которой концентрации более или менее постепенно изменяются от  $C_{вх}$  до  $C_e$ . Формирование зоны смешения связано в первую очередь с фильтрационной дисперсией (рассеянием) вещества. В некоторых случаях, кроме того, влияют сорбция и химические реакции между загрязненными и чистыми водами и породами. Принято выделять микродисперсию и макродисперсию в фильтрационном потоке.

**Микродисперсия** растворенных и эмульгированных в воде веществ при фильтрации в горных породах обусловлена самим характером движения воды по порам и трещинам, имеющим различную ориентацию и размеры даже в породах, которые в фильтрационном отношении считаются практически однородными. Это, во-первых, вызывает отклонения локальных скоростей движения в отдельных порах и трещинах от общей средней скорости потока подземных вод по направлению и величине, а во-вторых, приводит к смешению вод при слиянии в порах отдельных элементарных струек, имеющих неодинаковый состав. В направлении средней скорости движения подземных вод развивается *продольная микродисперсия*. Так как отдельные струйки воды перемещаются быстрее или медленнее, чем в среднем вся масса воды, к расчетному сечению  $x$ , соответствующему поршневому фронту фильтрации и определяемому по средней скорости движения воды  $V$ , к расчетному моменту времени  $t_{\phi} = xn/V$  ( $n$  — активная пористость) придут не все элементарные струйки с концентрацией  $C_{вх}$ . Поэтому здесь в отдельных порах еще останется вода с начальной концентрацией вещества. В результате средняя концентрация вещества в сечении  $x$  в момент  $t_{\phi}$  будет меньше  $C_{вх}$ ; вблизи этого сечения сформируется зона микродисперсии с промежуточными концентрациями от  $C_{вх}$  до  $C_e$ .

Проявление *поперечной микродисперсии* в одномерном фильтрационном потоке хорошо видно в условиях, когда загрязняющее вещество поступает только на часть плоскости  $MN$  входного сечения  $om$  (рис. 7.7). При этом смешение загрязненных и чистых вод происходит уже не только в направлении фильтрации (ось  $ox$ ), как это имеет место при чисто продольной дисперсии, но и по оси  $oy$ . В результате поперечные размеры зоны дисперсии постепенно расширяются и выходят за пределы, определяемые размером сечения  $MN$ . Перемещение частиц жидкости и растворенного вещества в направлении, поперечном одномерному фильтрационному потоку, становится возможным здесь как результат слияния элементарных струек чистой и загрязненной воды в поровых каналах и трещинах, отклоняющихся от среднего направления потока.

Поскольку происхождение фильтрационной микродисперсии связано с извилистостью траекторий частиц воды, огибающих непроницаемые зер-

на или блоки породы, масштаб проявления дисперсии зависит от размеров этих частиц и пор между ними.

В однородных пластах, сложенных мелкими песчаными или гравелистыми частицами, размеры дисперсионной зоны смешения не должны быть велики. Поэтому микродисперсия представляет практический интерес при изучении распределения и переноса вещества на сравнительно небольших расстояниях, например в почвенном слое при орошении или в лабораторных экспериментах. В количественном отношении фильтрационная микродисперсия оценивается с помощью статистических и математических моделей и характеризуется коэффициентами продольной и поперечной микродисперсии  $D_x$  и  $D_y$ . В многочисленных лабораторных экспериментах по фильтрации растворов в однородной пористой среде установлено, что с увеличением скорости фильтрации и размеров частиц фильтрующей среды, обтекаемых элементарными струйками, коэффициент дисперсии и зона дисперсии увеличиваются. Эта зависимость имеет вид:

$$D = \lambda_1 V. \quad (7.1)$$

В отдельных случаях наблюдалась зависимость вида

$$D = \lambda_1 V + \lambda_2 V^2. \quad (7.2)$$

Значения параметра  $\lambda_1$ , характеризующего геометрическую структуру порового пространства, в однородной среде соизмеримы с диаметром частиц; так, в песках и гравии  $\lambda_1 = 0,1 \div 3$  см, в трещиноватых породах  $\lambda_1$  больше.

Экспериментальными и теоретическими исследованиями установлено существование зависимости коэффициента дисперсии  $D$  от соотношения вязкостей вытесняемой и вытесняющей жидкости.

Макродисперсия в водоносных пластах связана с фильтрационной неоднородностью пород. При упорядоченной неоднородности, например, в слоистых водопроницаемых пластах ускоренное продвижение загрязненных вод по более водопроницаемым слоям приводит к возникновению концентрационных «язычков» внутри пласта.

Общие закономерности макродисперсии и ее влияние на миграцию растворенных веществ в подземных водах принято описывать так же, как и микродисперсию, уравнениями массопереноса и входящими в них коэффициентами дисперсии  $D$ ,  $D_x$  и  $D_y$ . При этом считаются справедливыми зависимости указанных параметров от скорости фильтрации (7.1)—(7.2) и от вязкости.

Прогнозы миграции загрязнений в случае упорядоченной неоднородности для получения «запаса надежности» следует проводить при максимальных значениях скоростей фильтрации и параметров дисперсии ( $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ) в наиболее проницаемых слоях.

В пластах с неупорядоченной неоднородностью переходная зона между жидкостями формируется по законам микродисперсии; при этом характерным параметром дисперсии будет, по-видимому, средний размер включений. Однако значения этого параметра должны определяться экспериментально в натуральных условиях. К сожалению, такие эксперименты выполняются редко, поэтому имеются лишь единичные данные о параметрах макродисперсии. Так, по одному опыту в мелкотрещиноватых известняках получено  $\lambda_1 \approx 30$  см, а несколько полевых опытов в трещиноватых мелах дали значения  $\lambda_1 = 0$  см,  $\lambda_2 = 0,7$  см.

Деформация границы раздела между жидкостями наблюдается также в присутствии локальных неоднородностей — макровключений в виде линз или блоков пород с фильтрационными свойствами, отличающимися от свойств пласта в целом.

Для описания миграции вещества в макронеоднородной среде с неупорядоченной неоднородностью, когда фильтрация воды происходит как по крупным трещинам и порам породы, так и в слабопроницаемых блоках, предложена, кроме того, блоковая модель; при этом в проницаемых

каналах учитывается перенос по схеме поршневого вытеснения, в блоках — только диффузионный или диффузионно-конвективный перенос [Газенко и др., 1977].

Слоисто-блоковая модель [Шестаков, 1980] учитывает конвективный перенос в хорошо проницаемых каналах и трещинах, а также диффузионно-конвективный отвод в слабопроницаемые блоки и отдельные слои.

2. На миграцию загрязнений в водоносных породах в значительной степени влияют поглощение и сорбция из загрязненных вод грубодисперсных, коллоидных и растворенных примесей, чему способствует очень большая площадь контакта поверхности зерен породы и воды.

В зависимости от состава, формы нахождения, концентрации примеси, состава воды и породы поглощение может быть разного характера и интенсивности. Так, грубодисперсные и коллоидные взвеси, а также некоторые микроорганизмы механически задерживаются при фильтрации в порах породы, вызывая коагуляцию. В других случаях задержание примесей проявляется как результат собственно физической (адгезия) или химической сорбции.

К явлениям, которые по своим результатам при фильтрации в водоносных пластах подобны собственно сорбционным, можно отнести также процесс задержки вещества в так называемых «тупиковых» порах, некоторые ионообменные реакции и др. Во всех этих случаях растворенные загрязняющие вещества в той или иной мере как бы поглощаются породой.

Кинетика этих разнородных процессов изучена еще слабо. Приблизительно она может быть описана уравнениями, учитывающими обратимую, необратимую сорбцию и другие особенности процесса, характеризующиеся соответствующими параметрами. Анализ этих уравнений с использованием экспериментально полученных кинетических коэффициентов сорбции на породах некоторых веществ-загрязнителей показывает, что обычно скорость сорбционного процесса велика.

Учитывая большую длительность контакта загрязненных вод с породами при фильтрации их в водоносном пласте, во многих случаях кинетику сорбции можно не учитывать и считать процесс сорбции загрязнений равновесным; так как при этом сорбция прямо пропорциональна скорости изменения концентрации вещества в растворе, процессы равновесной сорбции могут быть легко учтены в прогнозах миграции загрязнений с помощью одного параметра  $\beta$  — коэффициента распределения вещества в равновесных условиях

$$\beta = C_0/N_0, \quad (7.3)$$

где  $C_0$  и  $N_0$  — соответствующие предельные равновесные концентрации вещества в растворе и сорбенте.

Параметр сорбции  $\beta$ , как и параметры других процессов физико-химического взаимодействия, следует определять экспериментально, поскольку они существенно зависят от свойств породы.

При исследовании сорбции мигрирующих веществ необходимо учесть, что в грунтах активными компонентами являются катионы — они в той или иной мере сорбируются частицами грунтов, которые, как правило, имеют отрицательно заряженную сорбирующую поверхность. Анионы и электронейтральные молекулы плохо сорбируются и могут быть отнесены к нейтральным компонентам. В связи с этим выявление формы нахождения вещества в загрязненных подземных водах представляет существенный интерес.

В особенности это важно при изучении химического состава промышленных сточных вод, в которые в результате особенностей современной технологии, кроме свободных ионов, попадают разнообразные комплексные неорганические и органические соединения. Последние в дальнейших процессах изменения состава сточных вод (при их нейтрализации на очистных сооружениях, при смешении с подземными водами и т. д.) могут

разрушаться с образованием промежуточных и новых форм комплексных и простых соединений.

Способы расчета ионно-молекулярного состава природных вод по данным химического анализа основаны на решении системы уравнений баланса веществ и уравнений констант устойчивости комплексов [Тютюнова, 1976]. Полное решение таких систем, требующее использования ЭВМ, позволяет, кроме того, прогнозировать значения рН и активностей иона, в пределах которых возникают и остаются устойчивыми отдельные формы компонентов; максимально возможные концентрации отдельных форм компонента в воде; возможный состав твердых осадков, выпадающих из воды при тех или иных значениях рН, Eh и соотношениях активностей отдельных ионов.

В результате можно выявить наличие в воде загрязняющих компонентов, которые в благоприятных условиях сорбируются или выпадают из данного раствора при изменении рН, Eh, содержания отдельных ионов и т. д. Для суждения о том, насколько реализуется эта возможность при фильтрации в породах определенного состава и строения, необходима постановка специальных экспериментальных работ.

3. Специфический случай сорбции, при котором имеет значение кинетика процесса, представляет адсорбция микроорганизмов. Из анализа натурных наблюдений и лабораторных экспериментов следует, что ограниченная дальность распространения микробных загрязнений определяется в первую очередь их адсорбцией, т. е. поглощением при фильтрации в грунтах.

Природа адсорбции микробов при этом различна: при фильтрации в почвах она связана главным образом с влиянием антагонистичных микроорганизмов (слой почвы в 40 см задерживает около 90% бактерий); в мелкозернистых песчаных грунтах бактерии прилипают к отдельным частицам грунта из-за действия поверхностных или электрических сил, наличия в бактериях клеящих веществ и других причин.

Интенсивность адсорбции, определяющая в конечном итоге дальность распространения микробных загрязнений в подземных водах, значительно колеблется для различных видов загрязнений и зависит от условий фильтрации (состав пород, скорость фильтрации, присутствие в воде тех или иных химических веществ), начального содержания микробов в воде на входе в грунт, условий поступления микробов (длительное, кратковременное) и прочих факторов.

Анализ результатов лабораторных опытов по изучению дальности распространения микроорганизмов при фильтрации в песчаных грунтах [Орадовская, Моложавая, 1977] показал, что этот процесс может быть описан кинетическим уравнением вида

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \alpha \cdot (N_0 - N) C, \quad (7.4)$$

где  $N$  — количество сорбированных бактерий на момент времени  $t$ ;  $N_0$  — полная сорбционная емкость породы по отношению к микробиологическим загрязнениям;  $C$  — концентрация этих загрязнений в воде на время  $t$ ;  $\alpha$  — кинетический коэффициент.

4. Миграция радиоактивных элементов оценивается с учетом их сорбируемости на породах и распада, также уменьшающего их содержание в воде. Распад радиоактивных элементов характеризуется выражением

$$C = C_0 e^{-\alpha t}, \quad (7.5)$$

где  $C_0$  — концентрация радиоактивного элемента при времени  $t = 0$ ;  $C$  — то же на момент времени  $t$ ,  $\alpha$  — коэффициент скорости распада элемента.

Выражение (7.5) может быть использовано также для описания кинетики осаждения вещества из загрязненных подземных вод.

5. Загрязненные проточными водами часто обладают агрессивностью по отношению к породам водоносного пласта; их фильтрация сопровож-

дается растворением минералов и горных пород, приводящим к дополнительному изменению состава подземных вод. Уравнение кинетики растворения при поровом характере фильтрации и дисперсной форме распределения растворимых минералов может быть записано в виде [Веригин, 1953]:

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -\alpha_p (C_n - C) \sqrt{N_0}, \quad (7.6)$$

где  $N_0$  — начальное (при  $t = 0$ ) количество растворимых минералов в породе;  $N$  — то же в момент времени  $t$ ;  $C_n$  — концентрация растворенного вещества в насыщенном растворе;  $C$  — концентрация вещества в воде в момент  $t$ ;  $\alpha_p$  — константа скорости растворения.

Значения  $C_n$  и  $\alpha_p$ , зависящие от состава и температуры воды, характера распределения растворимых минералов в породе, условий их контакта с фильтрующей водой и других факторов, должны быть определены экспериментально.

6. Поступающие в водоносный пласт загрязненные сточные воды часто отличаются от подземных вод не только химическим составом, но и физическими свойствами — плотностью и вязкостью, — и эти отличия также влияют на характер и скорость распространения загрязнений в пласте. В частности, более тяжелые загрязненные воды погружаются в нижнюю часть пласта и продвигаются быстрее, чем в верхней части. Более легкие загрязненные воды распространяются преимущественно в верхней части пласта. В обоих случаях граница между загрязненными и чистыми подземными водами деформируется, приобретая в вертикальном сечении горизонтального пласта наклонное положение. В результате влияния гравитационного фактора увеличивается переходная зона от загрязненных вод к чистым, формирование которой в первую очередь связано с гидравлической макродисперсией. Развитие зоны, кроме того, существенно зависит от различий в вязкости вытесняющих (загрязненных) и вытесняемых (чистых) подземных вод.

Можно выделить несколько характерных случаев, представляющих интерес для практических прогнозов качества подземных вод при их загрязнении: а) вытеснение происходит в горизонтальных или слабонаклонных пластах; б) вытеснение осуществляется при вертикальной фильтрации из хранилищ, накопителей и других промышленных бассейнов (т. е. сверху вниз); в) загрязненные воды подтягиваются к действующему водозабору из нижних частей пласта, т. е. снизу вверх.

Фильтрационное вытеснение жидкостей разной плотности и вязкости в однородном пласте рассматривалось в работах И. А. Чарного [1963], В. М. Шестакова [1961], Ф. М. Бочевера, А. Е. Орадовской [1972]. Наиболее полно эта задача исследована В. С. Саркисяном [1975].

По его данным, длина  $L_{гр}$  проекции наклонной границы раздела на ось  $x$  (рис. 7.8) связывается со свойствами пласта, плотностью жидкостей и временем фильтрации  $t$  следующей зависимостью:

$$L_{гр} = \alpha \sqrt{(\Delta\bar{\gamma} km t \cos \varphi)/n}. \quad (7.7)$$

Здесь  $km$  — водопроводимость пласта;  $n$  — пористость;  $\varphi$  — угол наклона пласта к горизонту;  $\Delta\bar{\gamma} = (\gamma_1 - \gamma_2)/\gamma_2$ ;  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — плотность вытесняющей и вытесняемой из пласта воды.

Скорость перемещения границы раздела приближенно определяется по зависимости [Бочевер, Орадовская, 1972]:

$$V_{гр} = \frac{q}{mn} - \frac{k\Delta\bar{\gamma} \sin \varphi}{n}, \quad (7.8)$$

где  $q$  — постоянный расход потока.

В горизонтальных пластах ( $\varphi = 0$ ;  $\sin \varphi = 0$ ) граница раздела движется со скоростью  $V_{гр} = q/mn$ , т. е. так же, как при однородных жидкостях, — со скоростью поршневого вытеснения  $V$ . В наклонных пластах



При вытеснении воды из слоистого, неоднородного по проницаемости пласта наблюдаются межслойные поперечные перетоки.

Из изложенного видно, что при рассмотрении миграции загрязняющих веществ следует учитывать разнообразные виды их переноса в сочетании с физико-химическим взаимодействием загрязнений с подземными водами и породами.

Математические модели миграции, основанные на представлениях подземной физико-химической гидродинамики, характеризуются системой дифференциальных уравнений фильтрации и массопереноса, описывающих те или иные виды переноса, процессы, схемы фильтрации при различных начальных и граничных условиях. В силу сложности природной обстановки и, как следствие, сложности системы уравнений миграции, решение последней аналитическими методами получено лишь для сравнительно простых случаев, главным образом одномерных фильтрационных потоков, реже для отдельных фрагментов двумерного потока; при этом обычно рассматриваются один — два загрязняющих компонента и физико-химического процесса. Аналитические решения задач массопереноса в подземных водах приведены в указанных выше сводных работах, а также в работах, Н. Н. Веригина [1953], Ф. М. Бочевера, А. Е. Орадовской [1972], Ф. И. Тютюновой [1976], В. М. Шестакова [1961, 1963, 1980] и др. В частности, выражение для определения длины зоны дисперсии  $L_d$  в одномерном плоско-параллельном потоке подземных вод имеет вид:

$$L_d \approx 6,6 \sqrt{Dt/n} \quad (\text{для несорбирующихся компонентов}), \quad (7.12)$$

$$L_d \approx 6,6 \sqrt{Dt\beta/n(1 + \beta)} \quad (\text{для сорбирующихся компонентов}), \quad (7.13)$$

где  $D$  — коэффициент гидравлической дисперсии;  $n$  — активная пористость;  $t$  — время от начала движения загрязнений в пласте;  $\beta$  — коэффициент распределения при равновесной сорбции.

При этом в зону дисперсии включена область изменения относительной концентрации загрязняющего компонента от  $\bar{C}_1 = 0,99$  до  $\bar{C}_2 = 0,01$ ;  $\bar{C} = C(x, t)/C_{вх}$ .

В последние годы, особенно за рубежом, для решения системы уравнений фильтрации и массопереноса широко используются численные методы решения уравнений на ЭВМ и аналоговое моделирование.

Для практических прогнозов качества подземных вод в связи с возможностью их загрязнения используются некоторые общие закономерности движения растворенных и эмульгированных веществ в водоносных породах, которые следуют из теории миграции:

1. Определяющее влияние на скорость и дальность распространения загрязнений имеет перенос загрязняющих веществ фильтрационным потоком.

2. При фильтрации загрязненных поверхностных и сточных вод природные подземные воды вытесняются ими из пласта с образованием на границе раздела под влиянием сорбции, конвективной дисперсии и других физико-химических процессов переходной зоны смещения (зоны дисперсии), в которой концентрация загрязняющего вещества изменяется от  $C_{вх}$  (концентрация у источника загрязнения) до  $C_e$  (естественная фоновая концентрация в природных подземных водах; часто  $C_e = 0$ ).

3. Размеры зоны дисперсии определяются длительностью и скоростью фильтрации загрязнений, которая, в свою очередь, зависит от фильтрационных свойств породы и распределения напоров при гидродинамическом взаимодействии естественного потока подземных вод с внешними источниками питания, а также с источниками загрязнения, водозаборами и пр.

4. Различие в плотности приводит к деформации границы раздела между загрязненными стоками и чистыми подземными водами, причем в вертикальном сечении водоносного пласта она приобретает наклонное положение.

5. Длина переходной зоны смешения и деформации границы раздела, формирующейся под влиянием дисперсии, сорбции и различий в плотности и вязкости загрязненных и чистых подземных вод, определяется параметрами этих процессов.

Для сложных фильтрационных потоков данную зону с некоторым приближением допустимо оценивать отдельно по соотношениям, полученным из типовых решений уравнения миграции для одномерного потока.

6. Скорость сорбционных процессов при фильтрации в породах, как правило, настолько значительна, что практически эти процессы можно рассматривать как равновесные и характеризовать только коэффициентом распределения.

7. Главным фактором, определяющим формирование качества подземных вод, является их смешение с водами, поступающими в водоносный пласт из различных источников как в естественных условиях, так и при действии водозаборов, фильтрации из накопителей и т. д.

Учитывая эти обстоятельства, можно использовать следующий приближенный метод прогноза качества воды.

1. Вначале, исходя из предпосылки, что диффузия и дисперсия отсутствуют, т. е. по схеме поршневого вытеснения, но с учетом равновесной сорбции (поглощения), определяется фронт фильтрации  $L_\phi$ , образующийся под влиянием главных источников питания водоносного пласта, в том числе под влиянием поступления загрязненных растворов из источников загрязнения (поверхностных водотоков, промышленных бассейнов и т. д.).

2. Определяются размеры зоны деформации границы раздела и размеры зоны смешения, которые образовались под влиянием дисперсии ( $L_d$ ) и гравитационного эффекта ( $L_{гр}$ ). Путем наложения этих зон корректируется положение фронта загрязненных вод в каждый расчетный момент времени. В общем виде размеры области загрязненных природных подземных вод при фильтрации оцениваются по следующей зависимости (рис. 7.10):

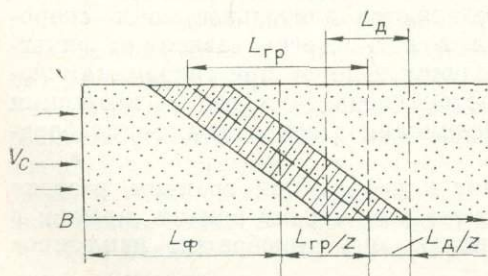
$$L = L_\phi + 0,5(L_d + L_{гр}), \quad (7.14)$$

где  $L_\phi$  — координата фронта фильтрации и сорбции;  $L_d$  — длина зоны дисперсии;  $L_{гр}$  — длина зоны деформации границы раздела, обусловленной различиями в плотности загрязненных и чистых подземных вод. Величины  $L_d$  и  $L_{гр}$  оцениваются по аналитическим зависимостям. Координату фронта фильтрации  $L_\phi$  следует определять из уравнения

$$\frac{dL_\phi}{V} = \frac{dt}{A}, \quad (7.15)$$

где  $V$  — действительная скорость фильтрации по направлению  $L_\phi$ , определенная с учетом действия каждого из источников фильтрации ( $V = kI/n$ ),  $k$  — коэффициент фильтрации,  $n$  — активная пористость,  $I$  — градиент скорости фильтрации по направлению  $L_\phi$ ;  $A$  — коэффициент, учитывающий влияние равновесной сорбции ( $A = [1 + \beta]/\beta$ ). Распространение загрязненных вод по схеме поршневого вытеснения для различных схем фильтрации рассмотрено в работах В. М. Гольдберга [1973, 1976], Е. Л. Минкина [1967], В. М. Шестакова [1961] и др.

Наиболее полное представление о положении фронта фильтрации за-



грязнений во всей области движения подземных вод может быть получено путем построения гидродинамической сетки фильтрации и соответствующих расчетов

Рис. 7.10. Схема к определению размеров зоны загрязненных подземных вод под влиянием дисперсии и различия в плотностях.

скоростей по линиям и полосам тока. Для построения таких сеток используются аналитические решения, графические методы и моделирование. Во всех случаях для определения скорости и времени продвижения загрязнений должно быть известно распределение напоров при понижении уровня в потоке подземных вод. При наличии не одного, а двух и более источников возмущения естественного фильтрационного потока, например фильтрующего хранилища сточных вод и водозабора, значение функции напора можно получить по методу суперпозиции, т. е. путем сложения эффектов изменения напоров (понижения или повышения естественного уровня подземных вод), вызванных каждым источником в отдельности.

Следует отметить, что миграция загрязнений в зоне аэрации изучена еще слабо. Сложный вид закономерностей передвижения влаги и физико-химических процессов при неполном насыщении обуславливают трудность разработки математических моделей движения загрязнений в этих условиях.

#### 7.5. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ИЗУЧЕНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Изучение загрязнения подземных вод необходимо при решении разнообразных задач их охраны. Первоочередная из них — систематический контроль за состоянием подземных вод в целях своевременного выявления и предупреждения загрязнения. Необходимость такого контроля обусловлена прежде всего существованием многочисленных и разнообразных источников загрязнения, а также тем, что по сравнению с загрязнением поверхностных вод и атмосферы загрязнение подземных вод развивается и проявляется медленнее: в течение многих лет оно может протекать незамеченным, а когда обнаруживается — в водозаборах, родниках, на участках дренирования подземных вод в реки — размеры загрязнения оказываются настолько большими, что для его ликвидации необходимы большие усилия. При ранней диагностике устранение источников и последствий требует существенно меньших затрат времени и средств.

Диагностика загрязнения основывается в первую очередь на изучении физико-химического взаимодействия загрязненных и природных подземных вод (табл. 7.5).

Загрязнение подземных вод изучается на участках, где оно возможно или уже произошло. В этом случае в задачу исследований входит: 1) выявление ареала загрязнения, т. е. его размеров по площади и глубине водоносного пласта, состава загрязняющих веществ, распределения их концентраций в ареале; 2) изучение причин загрязнения с выявлением приоритетности его источников; 3) гидрогеологическое обоснование и выбор мероприятий по ликвидации последствий загрязнения.

Исследования загрязненности подземных вод целесообразно проводить только на основе достаточно полного представления о природной обстановке, геологических и гидрогеологических условиях района в целом и в особенности об условиях распространения, питания, дренирования, гидрогеологических параметрах изучаемого водоносного горизонта, его взаимосвязи с поверхностными водами и другими водоносными горизонтами, об использовании подземных вод для водоснабжения и других целей. Вместе с данными о потенциальных источниках загрязнения это позволит: 1) выбрать площади или бассейны для проведения контроля за состоянием подземных вод, 2) определить первоочередные пункты и участки для изучения качества подземных вод, 3) установить перечень возможных веществ-загрязнителей.

При оценке состояния и качества подземных вод данные о геологических и гидрогеологических условиях могут быть получены в основном из литературных источников, содержащих материалы предыдущих гидрогеологических изысканий и исследований. При недостаточности этих дан-

Схема изучения физико-химического взаимодействия загрязненных и природных подземных вод

Задачи исследования	Вид исследования	Использование результатов
Изучение состава сточных вод, отходов, природных незагрязненных подземных вод	Химические анализы. Расчет форм нахождения компонентов в воде	Предварительные суждения о возможности проявления и роли отдельных физико-химических процессов
Изучение строения, состава и свойств пород водоносного пласта	Минералогический, granulометрический химический анализ. Опытнo-фильтрационные полевые исследования	
Выявление характера физико-химических процессов взаимодействия между сточными водами, природными подземными водами и породами	Предварительные лабораторные исследования в статических условиях	Выделение ведущих процессов взаимодействия. Заключение о целесообразности дальнейшего более детального изучения
Определение параметров физико-химического взаимодействия	Лабораторные эксперименты в динамических условиях. Полевые исследования — запуск нейтральных индикаторов или сточных вод в водоносный пласт	Прогноз распространения загрязнений и обоснование защитных мероприятий

ных в отдельных случаях может потребоваться бурение и опробование дополнительных разведочных скважин, которые должны быть размещены с учетом расположения возможных источников загрязнения подземных вод и водозаборов.

Методы лабораторного и полевого определения параметров миграции и химического состава подземных вод и загрязняющих их компонентов приведены в работах Ф. М. Бочевера с соавторами [1972, 1979], «Гидродинамические и физико-химические свойства...» [1977], В. М. Шестакова и др. [1973].

#### ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев Е. Я., Керкис Е. Е. О прогнозе засоления поверхностных и подземных вод отходами калийного производства. — В кн.: Гидрогеология и охрана недр при разработке соляных месторождений. Л., 1976, с. 58—67.
- Бер Я., Заславский Д., Ирмей С. Физико-математические основы фильтрации воды. М.: Мир, 1971. 451 с.
- Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н., Орадовская А. Е. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979. 254 с.
- Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. М.: Недра, 1972. 129 с.
- Веригин Н. Н. Некоторые вопросы химической гидродинамики, представляющие интерес для мелиорации и гидротехники. — Изв. АН СССР. Отд. техн. наук, 1953, № 10, с. 1369—1382.
- Веригин Н. Н., Шержуков Б. С. Диффузия и массообмен при фильтрации жидкостей в пористых средах. — В кн.: Развитие исследований по теории фильтрации в СССР (1917—1967). М.: Наука, 1969, с. 237—313.
- Газенко Н. В., Рошаль А. А., Шестаков В. М. Изучение солепереноса при промывках засоленных земель на основе модели гетерогенноблокового строения. — В кн.: Гидрогеология и инженерная геология. Новочеркасск, 1977, с. 3—13.
- Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. М.: Недра, 1977. 271 с.
- Гольдберг В. М. Гидрогеологические прогнозы движения загрязненных подземных вод. М.: Недра, 1973. 170 с.
- Гольдберг В. М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах. М.: Недра, 1976. 153 с.
- Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем/Васильев С. В., Веригин Н. Н., Глейзер Б. А. и др. М.: Колос, 1970. 440 с.

- Минкин Е. Л. Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1967. 124 с.
- Мироненко В. А., Румьнин В. Г., Учаев В. К. Охрана подземных вод горнодобывающих предприятий. Л.: Недра, 1980. 320 с.
- Орадовская А. Е. Миграция вещества и теплоперенос в подземных водах.— В кн.: Гидрогеологические исследования за рубежом. М.: Недра, 1982, с. 33—74.
- Орадовская А. Е., Моложавая В. И. Миграция микробных загрязнений в подземных водах.— Труды ВОДГЕО, 1977, вып. 63, с. 70—77.
- Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. Новосибирск: Наука, 1982.
- Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. Новосибирск: Наука, 1982.
- Пиннекер Е. В. Охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1979. 70 с.
- Просенков В. И. Прогноз геотермических изменений под воздействием градопромышленного комплекса Москвы.— Сов. геология, 1979, № 9, с. 115—129.
- Расновская М. А. Исследование условий загрязнения подземных вод в нефтедобывающих районах с целью гидрогеологического прогнозирования (на примере нефтеносных районов Татарии и Башкирии). Автореф. канд. дис. М., 1980. 19 с.
- Рекомендации по прогнозам подтопления промышленных площадок грунтовыми водами/Под ред. С. К. Абрамова. М., 1976. 324 с.
- Саркисян В. С. О закачке в скважину с учетом различия плотностей нагнетаемой и вытесняемой жидкостей.— Изв. АН СССР. Сер. Механика жидкости и газа, 1975, № 6, с. 67—73.
- Тютюнова Ф. И. Физико-химические процессы в подземных водах. М.: Наука, 1976, с. 127.
- Чарный И. А. Подземная гидрогазодинамика. М.: Гостоптехиздат, 1963. 396 с.
- Шестаков В. М. Основы гидрогеологических расчетов при фильтрации из хранилищ промышленных стоков. М. 1961. 100 с.
- Шестаков В. М. К теории фильтрации растворов в грунтах.— В кн.: Вопросы формирования химического состава подземных вод. М.: Изд. Моск. ун-та, 1963, с. 192—213.
- Шестаков В. М. Теоретические модели переноса загрязнения в подземных водах.— В кн.: Научные основы изучения и охраны подземных вод. Ч. 2. М.: Изд. Моск. ун-та, 1980. 164 с.
- Шестаков В. М., Рошаль А. А., Пашковский И. С. Методика определения миграционных параметров гетерогенных систем.— В кн.: Вопросы гидрогеологии. М.: Изд. Моск. ун-та, 1973, с. 83—97.
- Andrews C. Sensing and predicting thermal pollution of groundwater. 4th Joint Conf. Sens. Environ. Pollutants, New Orleans, La, 1977. Washington, D. C., 1978, p. 162—166.
- Atwell J. S., Parker W. H. A lachate control program for Saco, Maine.— J. Boston Soc. Civ. Eng. ASCE, 1977, v. 64, N 2, p. 85—97.
- Baedecker M. J., Back W. Hydrogeological processes and chemical reactions at a landfill.— Ground Water, 1979, N 5, p. 429—437.
- Banyevacz J. A talajvízék nitrattartalma Baranya megye Pécsi járásában. Hidrológiai Közlöny, 1977, N 41, sz. 506—512. (Hungary).
- Bestow T. The movement and changes in concentration of contaminants below a sanitary landfill, Perth, Western Australia.— Stud. and Repts Hydrol., 1977, N 24, p. 370—379.
- Campbell J. H., Wang F. T., Mead S. W., Busby J. F. Groundwater quality near an underground coal gasification experiment.— J. Hydrol., 1979, v. 44, N 3—4, p. 241—266.
- El-Ashky M. T. Groundwater salinity problems related to irrigation in the Colorado river basin.— Ground Water, 1980, N 1, p. 37—45.
- Exner M. E., Spalding R. F. Evolution of contaminated groundwater in Holt County, Nebraska.— Water Resour. Res., 1979, v. 15, N 1, p. 139—147.
- Fried J. J. Groundwater pollution, Amsterdam — Oxford — New-York, 1975, p. 304.
- Golwer A., Mathess G., Schneider W. Groundwater contamination by heavy metals leached from waste disposal deposits.— Groundwater Qual.— Meas. Predict. and Prot. Pap. and Proc. Water Res. Cent. Conf., Reading, 1976, Medmenham-Stevenage, 1977, p. 563—567.
- Groundwater pollution in Europe.— Proc. Conf., Reading, 1972, Port Washington, N. Y., 1974, p. 23—29, p. 167—202, p. 374—376.
- Helweg O. J., Smith G. Appropriate technology for artificial aquifers.— Ground water, 1978, N 3, p. 144—148.
- Lindorff D. E. Ground-water pollution.— A status report.— Ground water, v. 17, N 1, 1979, p. 9—17.
- Marzouk J., Goyal S. M., Gerba C. P. Prevalence of enteroviruses in ground water of Israel.— Ground Water, 1979, N 5, p. 487—491.
- Riha M. Hydrochemical effects of waste percolation on groundwater in basalt near Footscray, Victoria, Australia.— Groundwater Invest. Program. Rept., Mines Dep. Victoria, Melbourne, 1976, p. 6—7.
- Robertson F. N. Evaluation of nitrate in the groundwater in Delaware Coastal plain.— Ground Water, 1979, N 4, p. 323—337.
- Schubert J. P. e. a. Monitoring the effects coal refuse disposal and reclamation on

water quality in SW Illinois.— 4th Toint Conf. Sens. Environ. Pollutants (New Orleans, 1977). Washington, 1978, p. 724—731.

Sever C. W. The federal groundwater protection program — Today's hope.— Groundwater, 1979, v. 17, N 1, p. 80—82.

Singh B., Sekhon G. S. Nitrate pollution of groundwater from farm use of nitrogen fertilizers.— A review. Agr. and Environ., 1979, v. 4, N 3, p. 207—225.

## 8. ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Охрану подземных вод следует рассматривать как комплекс мероприятий, имеющих целью предотвращение загрязнения, ликвидацию его последствий, сохранение и улучшение качества подземных вод для их эффективного использования в народном хозяйстве. Поскольку загрязнение подземных вод в основном связано с загрязнением поверхностных вод, атмосферы, атмосферных осадков и почв, т. е. окружающей среды в целом, задачи охраны подземных вод от загрязнения должны решаться одновременно с проблемой охраны окружающей среды.

Известно, что борьба с загрязнениями, уже попавшими в водоносный пласт,— очень сложная задача, требующая дорогостоящих, часто трудно-реализуемых мероприятий. При большом накоплении в пласте загрязняющих веществ и малой их десорбируемости, а также при низких фильтрационных свойствах пород время, необходимое для полного извлечения загрязнений из пород и подземных вод, может измеряться десятками и даже сотнями лет.

Большую роль среди мероприятий по охране подземных вод должны сыграть уже принятые и разрабатываемые законодательства и государственные стандарты, регулирующие: нормативы предельно допустимых концентраций и предельно допустимых выбросов загрязняющих веществ; рациональное использование подземных вод и земных недр; размещение и эксплуатацию новых предприятий, водозаборов подземных вод и других объектов, использующих подземные воды и влияющих на них; проведение поисковых и разведочных работ на воду, нефть, газ и другие полезные ископаемые.

«Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик» выработаны правила охраны подземных вод от загрязнения и засорения. Мероприятия, обеспечивающие рациональное использование и охрану водных объектов, являются обязанностью всех предприятий-водопользователей и предусматриваются в государственных планах развития народного хозяйства. Использование резервуаров пресных подземных вод для сброса различных отходов запрещается. Сброс сточных вод допускается, если он не приводит к появлению в воде загрязняющих веществ выше установленных норм и при условии очистки водопользователем сточных вод до необходимых пределов. Если указанные требования нарушаются, сброс ограничивается и приостанавливается. Органы санитарного надзора в этом случае могут запретить деятельность предприятий.

Не останавливаясь на методах очистки сточных вод, являющихся предметом особого исследования, заметим, что пока эта очистка весьма дорога (табл. 8.1).

Характер загрязнения подземных вод отражают его «поставщики». Вследствие большого разнообразия промышленных производств, ввода в эксплуатацию предприятий с ранее не известными конечными продуктами или технологическими схемами состав загрязнителей все время усложняется. В 1944 г. нормировалось содержание 13 загрязняющих веществ, в 1960 г.— 70, в 1967 г.— 180, в 1973 г.— 250, а сейчас — более 600. Это число увеличивается с каждым годом. Весьма опасными считаются сточные воды химических, целлюлозно-бумажных, нефтеперерабатывающих

Таблица 8.1

## Основные технико-экономические показатели различных методов очистки производственных сточных вод

Методы очистки	Технико-экономические показатели, руб.	
	Удельные капитальные затраты на 1 м <sup>3</sup> годового стока	Себестоимость очистки 1 м <sup>3</sup> сточных вод
Биологическая очистка		
а) совместно с бытовыми стоками	0,42—0,73	0,05—0,12
б) при разбавлении условно чистыми стоками	0,42—2	0,09—1,2
в) при разбавлении речной водой	0,42—2,3	0,1—1,45
Адсорбционная очистка с нейтрализацией стоков	1,5—2,75	0,65—1,46
Нейтрализация	0,08—0,2	0,35—0,65
Электрохимическая очистка	1,94—5,56	0,41—2,53
Сжигание	4,6—9,5	0,76—6,3
Закачка в подземные горизонты	0,99—11,51	0,16—1,0
Отвод в накопители	0,18—0,79	0,02—0,12

и атомно-энергетических производств. Очень вредны соединения ртути и свинца, а из радиоактивных веществ — стронций-90. Загрязнители наряду с токсичными элементами представлены веществами, которые в небольших количествах содержатся в подземных водах (например, сульфатами или хлоридами натрия, магния и кальция).

Наиболее важным представляется геологический контроль над размещением новых предприятий, который следует проводить с учетом природной защищенности пригодных для водоснабжения подземных вод и связи отдельных водоносных горизонтов между собой и с поверхностными водами.

Предотвращению загрязнения подземных вод содействуют мероприятия общего характера: 1) создание замкнутых систем промышленного водоснабжения и канализации; 2) внедрение производства с бессточной технологией или с минимальным количеством сточных вод и других отходов; 3) совершенствование очистки сточных вод; 4) изоляция коммуникаций со сточными водами; 5) ликвидация или очистка газо-дымовых выбросов на предприятиях; 6) контролируемое или ограниченное использование ядохимикатов и удобрений на сельскохозяйственных территориях; 7) надежное захоронение особо вредных стоков, не имеющих экономически оправданных методов очистки или ликвидации; 8) создание водоохраных зон в районах развития грунтовых вод с установлением здесь строгих правил хозяйственной и строительной деятельности. Одна из первых в нашей стране водоохраных зон создается в бассейне р. Сев. Донец для защиты регионально развитого мелового водоносного горизонта от загрязнения и истощения; для обоснования проекта водоохранной зоны выполнен большой комплекс инженерно-геологических и гидрогеологических исследований.

Проведение этих мероприятий в основном решит проблему сохранения качества подземных вод. Однако, поскольку для полного их осуществления требуется значительное время, сточные воды все еще будут поступать в реки и водоемы, сохраняются существующие и будут построены новые поверхностные хранилища для сточных вод и отходов; не исключены случайные загрязнения подземных вод при аварийных разливах и утечках технологических и сточных вод из цехов, емкостей, трубопроводов и т. п. Все это следует иметь в виду при выборе оптимальных вариантов проектов развития народного хозяйства.

## 8.1. ПРИРОДНАЯ ЗАЩИЩЕННОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

По сравнению с поверхностными подземные воды в целом, несомненно, лучше защищены от загрязнения более или менее мощной толщей пород. Грунтовые воды, не имеющие водоупорной кровли, защищены в меньшей мере, чем глубокие подземные воды, и обычно воспринимают основную часть техногенных загрязнений с поверхности. Из грунтовых вод загрязнения могут проникать и в более глубокие напорные и безнапорные водоносные горизонты; этому способствуют понижение напоров в глубоководозалегающих водоносных пластах, наличие «литологических окон» в их кровле, дефектные скважины, по стволу которых происходит переток загрязненных вод, и другие обстоятельства. Но в целом глубоководозалегающие напорные подземные воды обладают большей степенью защищенности за исключением, конечно, случаев непосредственного сброса загрязнений через поглощающие скважины и т. п. Природная защищенность подземных вод от поверхностного загрязнения может проявиться и реализоваться в случае, если водоносный горизонт изолирован от поверхностных вод либо поверхностные воды в процессе инфильтрации полностью очищаются от содержащихся в них загрязнений. В первом случае загрязненные поверхностные воды и стоки вовсе не поступают в водоносный пласт, а если и дойдут до него, то за очень большой период времени (несколько десятков или сотен лет), существенно превышающий обычные сроки перспективного использования подземных вод. Такие условия обеспечиваются, когда кровля водоносного горизонта сложена практически водоупорными или слабопроницаемыми породами большой мощности, имеющими региональное распространение и не нарушенными литологическими окнами, трещиноватостью или тектоническими проявлениями. Загрязнения также не могут поступить в водоносный пласт, если последний обладает высокими напорами, превышающими отметки земли и уровни воды в хранилищах сточных вод, и эти напоры не будут снижены в результате водоотбора. Природная защищенность такого рода присуща глубоководозалегающим напорным водам во многих районах нашей страны.

В горизонты грунтовых вод поверхностные стоки, как правило, проникают за сравнительно короткое время, не превышающее десятков суток или нескольких месяцев. Лишь в особых обстоятельствах при фильтрации поверхностные воды не достигают уровня грунтовых вод; так может быть, например, при периодической инфильтрации малого объема поверхностных вод в условиях интенсивного испарения и большой мощности зоны аэрации, сложенной слабопроницаемыми породами. Во втором случае, когда в водоносный пласт поступают поверхностные воды, обезвреженные и очищенные от загрязнений в результате фильтрации через толщу вышележащих пород, природная защищенность подземных вод связывается с процессами самоочищения. При использовании этого термина обычно подразумевается аналогия с самоочищением речных, озерных и других поверхностных вод, однако эта аналогия имеет формальный характер, поскольку сущность и интенсивность природных процессов, приводящих к очистке загрязненных поверхностных и подземных вод, различны. В поверхностных водах, контактирующих с атмосферой и содержащих разнообразные микроорганизмы, под действием растворенного кислорода, света, повышенной температуры многие органические загрязнения интенсивно окисляются, разлагаются и минерализуются; патогенные бактерии и вирусы уничтожаются другими антагонистичными микроорганизмами; концентрация стойких, неразлагающихся химических загрязнений снижается до ПДК и ниже за счет многократного разбавления при смешении с чистыми речными и другими поверхностными водами. Характер самоочищающей способности подземных вод несколько иной. Воды земных недр обычно имеют низкую температуру и содержат сравнительно малый запас растворенного кислорода и ограниченное количество микроорганизмов, поэтому характерные для поверхностных вод процессы не получают такого

развития; существенно меньшие возможности и для разбавления загрязненных вод. Лишь в почвенном слое и в самой верхней части зоны аэрации обилие микроорганизмов и присутствие воздуха обуславливают возможность частичной трансформации химических и биологических загрязнений.

### 8.1.1. Влияние природных условий на загрязнение подземных вод

Ниже поверхности земли самоочищение инфильтрующихся или движущихся вод происходит путем сорбции загрязнителей породами, ионного обмена, реже окисления или разложения загрязняющих веществ. Наиболее часты случаи загрязнения подземных вод растворимыми веществами; сложный путь распространения загрязнителей в подземной гидросфере можно дифференцировать на стадии: 1) проникновение загрязнителя через зону аэрации в насыщенную водой среду, 2) перенос его с подземными водами, 3) сорбция и физико-химическое взаимодействие загрязненного вещества и вмещающей породы. Хорошими сорбентами являются почвенный слой, пористые и глинистые разности пород. Известны примеры, когда при фильтрации сточных вод и детергентов (очистителей), содержащих фосфор, до 95% загрязнителей задерживалось в первых 15—30 см почвы. Однако в кристаллических и даже карбонатных породах эффект самоочищения оказывается незначительным. Есть много сложных загрязнителей, которые не сорбируются вовсе и способны накапливаться в подземных водах.

Природные условия играют ведущую роль в борьбе с любым видом загрязнения подземных вод. Очень легко проникают загрязняющие вещества в верхние водоносные горизонты как в случае естественной инфильтрации из различного рода хранилищ, так и в результате «непреднамеренных» аварий, при этом степень загрязнения часто зависит от природной защищенности подземных вод.

Примером типичной «непреднамеренной» аварии, вызвавшей серьезное загрязнение весьма слабо защищенного резервуара подземных вод, может быть случай, который произошел в 1957 г. на одной военно-морской базе США, где воздушный лайнер разлил на поверхности земли 110 тыс. л реактивного топлива [Кунин, 1976]. Водоносный горизонт трещиноватых кристаллических пород оказался так сильно загрязненным, что в течение 15 лет не удавалось восстановить существовавшую ранее традиционную систему водоснабжения базы из буровых скважин.

Промышленное и сельскохозяйственное загрязнение сейчас становится региональным. Воздушными потоками загрязнители разносятся на сотни километров от места их попадания в атмосферу, осаждаются на поверхность и попадают в подземные воды. Промышленное загрязнение таким образом попадает, например, из ФРГ в Скандинавию и из США в Канаду.

Исследования, проведенные в связи со строительством на берегах озер и водохранилищ ГЭС водозаборов инфильтрационного типа [Шиннекер, 1979], указывают на возможность загрязнения формируемых вдоль берегов искусственных запасов подземных вод. Дело в том, что вносимые в почву удобрения и пестициды с прилегающих земель интенсивно сносятся в такие водоемы и оседают в прибрежных наносах, откуда затем подтягиваются с инфильтратом к водозаборам. Если в аллювиальных песчано-глинистых отложениях загрязнители еще как-то сорбируются, то при фильтрации через закарстованные породы очистка сводится к минимуму. Поэтому охрана водозаборов тут должна ориентироваться как на защиту санитарного состояния водохранилища, так и на ограничение сельскохозяйственного загрязнения прилегающих земель.

Сельскохозяйственное загрязнение носит, как правило, площадной характер. Очень сильно загрязнены основными компонентами минераль-

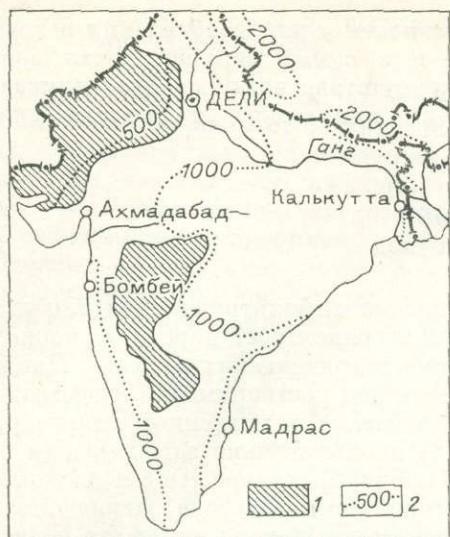


Рис. 8.1. Схематическая карта Индии [Handa, 1973].

1 — территория с содержанием в грунтовых водах более 250 мг/л нитратов; 2 — изолинии среднегодовых атмосферных осадков, мм.

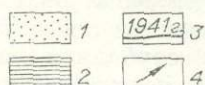


Рис. 8.2. Вторжение океанической воды в пресные подземные воды долины р. Санта-Ана (Калифорния, США [по Н. Н. Фаворину]).

1 — долина р. Санта-Ана; 2 — возвышенные участки; 3 — фронт соленых и пресных вод; 4 — направление внедрения соленых вод.

ных удобрений, т. е. соединениями азота, фосфора и калия, верхние водоносные горизонты. Громадные ореолы с содержанием в грунтовых водах более 250 мг/л нитратов отмечены на территории Индии (рис. 8.1) с наиболее низким количеством выпадающих атмосферных осадков. А ведь допустимая концентрация этого компонента в питьевой воде составляет 10 мг/л! Для сравнения укажем, что в подземных водах глубоких горизонтов Индии нитратов не более 1 мг/л. Несомненно, высокое содержание нитратов обусловлено попаданием в верхние водоносные горизонты азотных удобрений в результате их вымывания из почвы и последующего концентрирования нитратов под влиянием сухого климата [Handa, 1974].

Коммунально-бытовые загрязнители в карстовых районах мигрируют на большие расстояния. Подобные случаи отмечались в австрийских Альпах. Для профилактики загрязнений от строящихся в горах отелей и туристских баз Обществом гидрогеологических исследований в г. Граце с помощью различных индикаторов (красителей, радионуклидов, спор) были изучены пути движения карстовых вод в карбонатных массивах Альп, что позволило очень точно установить зоны санитарной охраны, выбрать места заложения водозаборных скважин и наметить участки, где можно производить сброс стоков в недра Земли.

Загрязнение за счет внедрения морских или глубоких соленых вод обычно локализуется на участках, где в силу особенностей геологического строения и неумеренной эксплуатации в резервуарах пресных вод появляется депрессионный вакуум. «Языки» морских вод отмечаются обычно в долинах рек, при этом их длина достигает 7—8 км (рис. 8.2). Подток глубоких соленых вод в водозаборные скважины при интенсивной эксплуатации характерен, например, для Среднего Поволжья (Казань, Дзержинск и т. д.), где в долинах рек непосредственно под пресными водами залегают «купола» соленых вод [Расновская, Ковалева, 1974]. Весьма осторожно ведется эксплуатация туркменских линз пресных вод, в том числе крупнейшей из них — Ясханской, которая со всех сторон окружена солеными водами с минерализацией до 30—60 г/л. Эта линза буквально плавает на соленых водах (см. гл. 10).

Борьба с засолением пресных подземных вод не вызывает серьезных затруднений: необходимо ограничить водоотбор до размеров, не превы-

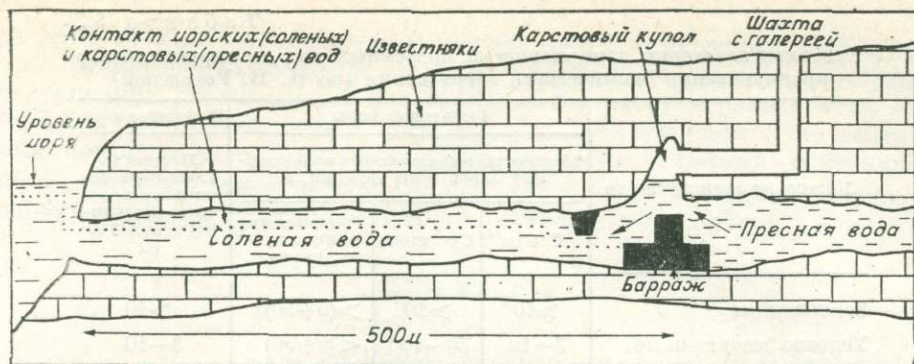


Рис. 8.3. Разграничительная плотина на пути карстового потока в Порт-Миу, Франция [Шиннекер, 1979].

шающих естественное питание, или применять искусственное восполнение дождевыми или речными водами, как это, например, практикуется сейчас в Нью-Йорке. Чтобы оградить водозаборы в карстовых потоках от проникновения морских вод, возводят искусственные плотины-барражи. Одна из них несколько лет назад возведена на Средиземноморском побережье Франции в районе Порт-Миу, около г. Кассиса. Здесь в 500 м от берега естественная карстовая полость, несущая поток пресных вод, вскрыта шахтой глубиной 50 м и рассечкой. В карстовом расширении установлен барраж, создающий подпор разгружающихся пресных подземных вод и позволивший их изолировать от морских вод (рис. 8.3). После всестороннего изучения карстовые воды этого очага разгрузки должны стать источником водоснабжения г. Марселя.

#### 8.1.2. Оценка степени природной защищенности подземных вод от загрязнения

Защищенность подземных вод от загрязнения относительна. Конечно, она лучше, чем у поверхностных вод, которые, как мы видели, совершенно не защищены. Несмотря на трудность естественного проникновения загрязнителей в земные недра и сравнительно хорошую сорбционную способность горных пород, подземные воды все больше и больше загрязняются.

Самую общую оценку степени защищенности подземных вод, в особенности верхних водоносных горизонтов, можно дать на основе так называемых факторов защищенности, под которыми понимаются природные барьеры, затрудняющие попадание в резервуар подземных вод загрязняющих веществ. На макете карты естественной защищенности подземных вод от загрязнения [Роговская, 1976] отражены семь главных показателей: 1) зона аэрации; 2) первый от поверхности региональный водоупор; 3) гидрогеодинамическая изолированность основного водоносного горизонта; 4) растительный покров; 5) состав подземных вод, обуславливающий характер взаимодействия между водой и загрязнителем; 6) фильтрационные свойства пород и 7) локальные особенности интенсивной фильтрации.

Задача по составлению карты естественной защищенности подземных вод, таким образом, сводится к выявлению и систематизации региональных факторов, защищающих как грунтовые, так и напорные воды, и локальных факторов, нарушающих защищенность подземных вод, а также к разработке критериев оценки этих факторов. Н. В. Роговская [1976] в зависимости от мощности водоупоров различает следующие категории защищенности: защищенные, условно защищенные и незащищенные (табл. 8.2).

Условные категории защищенности подземных вод от вертикального проникновения химического загрязнения (по Н. В. Роговской)

Категория защищенности	Грунтовые воды			Напорные воды
	Мощность выдержанных водоупорных слоев зоны аэрации, м			
	Глины	Суглинки	Чередование глин и суглинков	Мощность глин первого от поверхности выдержанного водоупора
Защищенные	>10	>10	>(5+50)*	>10
Условно защищенные	3—10	30—100	<(5+50) или >(1,5+ +15)	3—10
Незащищенные	<3	<30	<(1,5+15)	>3

\* Первая цифра — мощность глин, вторая — суглинков.

Несколько иной подход к естественной защищенности наблюдается при оценке мощности зоны аэрации в случае предохранения подземных вод от продуктов наземного радиоактивного заражения. Наибольшее загрязнение в этом случае происходит при выпадении атмосферных осадков в первые часы после взрыва [Белицкий, Орлова, 1968]. Весьма опасны весенний и осенний периоды, во время которых радиоактивные загрязнители проникают с инфильтрационными водами достаточно глубоко под землю.

Преградой для них может быть зона аэрации. Например, будучи сложена рыхлыми породами мощностью всего 1—2 м, согласно расчетам А. С. Белицкого и Е. И. Орловой [1968], эта зона в первое время практически не пропускает радиоактивные загрязнители. В течение 5—10 лет и более после проведения ядерного взрыва она также достаточно надежно охраняет грунтовые воды от попадания радиоактивных загрязнителей с поверхности, при этом ее защитные свойства определяются мощностью и литологическим составом пород (табл. 8.3). Однако зона аэрации, сложенная валунно-галечными скоплениями или сильно трещиноватыми скальными породами, вовсе не защищает верхние водоносные горизонты. В этом случае стронций—90, являющийся наиболее опасным загрязнителем, почти не поглощается породами и поэтому хорошо переносится инфильтрующимися водами.

По сравнению с грунтовыми водами более надежными являются артезианские: почти везде они неуязвимы для попадания радиоактивных веществ с поверхности. Следует лишь обращать внимание, чтобы атмосферные осадки не проникали через поглощающие скважины или другие места нарушения кровли верхнего водоупора артезианских водоносных горизонтов.

При фильтрации в зоне аэрации и водоносном пласте многие вещества полностью или частично сорбируются, а нейтральные химические загрязнения, т. е. несорбирующиеся, неразлагающиеся и нераспадающиеся вещества, проходят через толщу пород практически без изменений. При этом расчеты времени вертикальной фильтрации при различных фильтрационных параметрах пород показывают, что природная защищенность грунтовых вод, даже при мощной и слабопроницаемой зоне аэрации, всег-

Таблица 8.3

Состав и мощность зоны аэрации, предохраняющей подземные воды от радиоактивного заражения [Белицкий, Орлова, 1968]

Литологический состав	Мощность, м
Гравийно-галечные отложения	20—28
Пески	5—20
Глины и суглинки	2—5

да недостаточна для защиты от нейтральных химических загрязнений.

Химические загрязнения, сорбирующиеся на породах, при постоянном поступлении загрязненных вод также могут распространиться на очень большие расстояния, хотя и будут продвигаться медленнее, чем нейтральные компоненты загрязнений. Если скорость движения нейтрального компонента в потоке подземных вод равна  $V_{nc}$ , то скорость движения сорбирующегося компонента (при равновесной сорбции) составляет

$$V_c = V_{nc} \frac{\beta}{1 + \beta}, \quad (8.1)$$

где  $\beta$  — коэффициент распределения,  $V_{nc}$  — скорость движения несорбирующихся компонентов.

Выражение (8.1) может быть использовано для оценки природной защищенности водоносного пласта от сорбирующихся компонентов; время, требующееся на продвижение таких компонентов в водоносном пласте на то или иное расстояние, определяется с учетом конкретных гидрогеологических условий по выражению (7.15). При кратковременном поступлении сорбирующихся химических загрязнений последние могут быть полностью задержаны в породах, перекрывающих водоносный пласт, если длительность фильтрации через эти породы будет равна или больше времени  $t$ , определяемого из выражения (8.2) [Основы..., 1969]:

$$t = t_n \left[ 1 - \frac{(1 + \beta') \beta}{\beta' (1 + \beta)} \right]^{-1}, \quad (8.2)$$

где  $\beta$  — коэффициент распределения при сорбции,  $\beta'$  — то же, при десорбции ( $\beta \neq \beta'$ ).

Природная защищенность подземных вод от поступления поверхностных вод, содержащих радиоактивные вещества, определяется с учетом их сорбционных свойств и времени распада. При оценке природной защищенности подземных вод от биологических загрязнений следует учитывать, что дальность и скорость распространения в подземных водах биологических загрязнений определяются, с одной стороны, условиями фильтрации и загрязнения, а с другой — временем выживаемости, т. е. длительностью существования микроорганизмов в подземных водах. Крупные микроорганизмы, входящие в состав планктона речных и озерных вод, как правило, не проникают в подземные воды. Известны, однако, случаи появления в подземных водах и водозаборах, расположенных на берегах мелководных водохранилищ, синезеленых водорослей и железобактерий.

Распространение микробных загрязнений в подземных водах наблюдалось неоднократно. В зависимости от состава пород водоносного горизонта дальность продвижения микроорганизмов изменяется от 15—20 м (в мелкозернистых песках) до 800—1000 м (в галечниках и трещиноватых известняках), увеличиваясь с повышением скорости фильтрации.

При искусственном пополнении подземных вод за рубежом и в СССР распространение бактерий в водоносном горизонте отмечено в мелкозернистых песках на расстояние до 10—15 м, в среднезернистых — до 160 м при скорости фильтрации 0,5 м/сут, в песчаных грунтах на 200 м и более при скорости фильтрации 2—16 м/сут.

Результаты определения числа бактерий в воде под дном инфильтрационных бассейнов показывают, что в основном бактерии задерживаются на первых десятках сантиметров слоя мелкозернистых грунтов под бассейном, а на глубине 3 м относительное число бактерий уже снижается до 0,07%. Эти данные, а также многочисленные лабораторные опыты указывают на то, что ограниченная дальность распространения микробных

загрязнений, особенно в мелкозернистых породах, определяется главным образом адсорбцией. При этом адсорбция микроорганизмов, препятствующая их распространению в водоносных грунтах, может быть эффективна лишь в породах с большой удельной поверхностью контакта воды и породы — в почвах, суглинках, мелко- и среднезернистых песках, где длина зоны бактериального загрязнения не превышает 200—300 м. В породах с большими размерами пор и пустот и малой удельной поверхностью контакта воды и породы — в трещиноватых скальных породах, а также в сильнопроницаемых валунно- и гравийно-галечных грунтах — адсорбция очень мала.

Параметры сорбции при этом следует определять в экспериментах, так как адсорбция бактерий сугубо специфична: подвижные бактерии сорбируются хуже, чем неподвижные; адсорбции способствуют органические вещества, снижение температуры, кислая среда и т. д. Даже различные штаммы одного и того же вида бактерий сорбируются с неодинаковой интенсивностью. Время выживаемости микроорганизмов в подземных водах также очень различно, оно зависит от вида микроорганизмов, плотности заражения воды (т. е. начального количества микроорганизмов в 1 л воды), присутствия в воде некоторых химических загрязнений и колеблется от 50—70 до 400 сут. В качестве расчетного времени выживаемости микроорганизмов можно рекомендовать следующие значения: при поступлении бактериальных загрязнений в подземные воды из относительно мало загрязненных открытых водоемов, рек, инфильтрационных бассейнов — 200 сут.; при наличии массивных и постоянно действующих источников бактериального загрязнения (поля фильтрации, скотоводческие фермы, места поступления неразбавленных сточных вод) — 400 сут.

Таким образом, природная защищенность подземных вод одного и того же водоносного горизонта различна для различных видов загрязнений, зависит, кроме того, от интенсивности и характера поступления загрязнений и может быть оценена по времени движения загрязненных вод через толщу пород, залегающих над водоносным горизонтом.

## 8.2. ЗОНА САНИТАРНОЙ ОХРАНЫ ВОДОЗАБОРОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В целях предотвращения загрязнения в окрестности водозаборов подземных вод устанавливается зона санитарной охраны (ЗСО), в которой обычно выделяют два пояса: I — строгого режима и II — пояс ограничений.

Назначение I пояса ЗСО — устранение возможности случайного загрязнения подземных вод непосредственно через водозаборные сооружения или нарушения нормальной работы водозаборного сооружения, водоподъемных устройств и сооружений для очистки и сбора воды. Поэтому размеры и конфигурация территории I пояса практически мало зависят от гидрогеологических условий и определяются преимущественно составом и расположением охраняемых объектов.

Границы I пояса располагаются не менее чем на 50 м от водозаборных сооружений при использовании безнапорных водоносных горизонтов и не менее чем на 30 м при использовании артезианских водоносных горизонтов или межпластовых водоносных горизонтов со свободной поверхностью, но перекрытых мощной толщей слабопроницаемых нетрещиноватых отложений. Для одиночных водозаборов (скважин), располагаемых на территории, где отсутствуют поверхностные источники загрязнения, расстояние до границы I пояса может быть уменьшено до 20—15 м. Санитарное состояние территории I пояса должно соответствовать указаниям СНиП П-31-74.

Пояс II ЗСО примыкает к поясу I и охватывает более широкую территорию, окружающую водозабор подземных вод, а в системах искусственного пополнения подземных вод — также и инфильтрационные соору-

жения. Назначение II пояса — устранение возможности появления источников загрязнения в той части водоносного пласта, которая будет использована водозабором в течение расчетного срока его работы. Аналогично практике количественной оценки эксплуатационных запасов подземных вод расчетный срок для установления размеров II пояса ЗСО обычно составляет 25 лет, хотя на практике 25-летний период эксплуатации водозабора в большинстве случаев не является предельным. В подземных водах артезианских бассейнов, речных долин и конусов выноса, служащих основными источниками водоснабжения, после 25 лет эксплуатации, а нередко и до истечения этого срока темп сработки запасов резко сокращается и движение подземных вод стабилизируется. Практически в таких условиях можно говорить об обеспеченности прогнозируемого количества подземных вод на неограниченный срок.

Иначе обстоит дело с качеством подземных вод, так как возможность миграции загрязнений и опасность ухудшения качества подземных вод сохраняются и в условиях стационарного режима эксплуатации водозабора. В связи с этим имеются предложения о введении в дополнение ко II поясу ЗСО III пояса гидрогеологического и санитарного контроля и наблюдений [Боचेвер, Орадовская, 1977].

В пределах II пояса ЗСО качество подземных вод должно соответствовать требованиям хозяйственно-питьевого использования на 25-летний срок эксплуатации, а в III поясе ЗСО за указанный срок должны быть ликвидированы источники и очаги загрязнения (если они имеются), что позволит сохранить хорошее качество воды в водозаборе дольше 25 лет.

Введение III пояса ЗСО будет способствовать выделению первоочередных объектов для проведения мероприятий по локализации и ликвидации загрязнения подземных вод, которые могут осуществляться только постепенно, так как их реализация требует больших затрат.

Введение пояса контроля и наблюдений в отдельных случаях вызовет необходимость некоторого расширения района изыскательских работ, без которого нельзя дать гидрогеологическое обоснование, требуемое для начальной стадии проектирования первоочередных мероприятий по локализации и ликвидации существующего загрязнения подземных вод в зоне влияния водозабора.

На участках с искусственным пополнением запасов подземных вод в зону санитарной охраны включаются: водозаборы на реках и других открытых источниках, используемых для пополнения подземных вод; водозаборы подземных вод; инфильтрационные сооружения — бассейны, отстойники, каналы и т. п., водоводы, насосные станции, установки для предфильтрационной и последующей обработки воды.

Границы I и II поясов ЗСО открытых водоемов, служащих источниками пополнения подземных вод, а также связанных с ними водоводов и сооружений для обработки воды устанавливаются в соответствии с указаниями СНиП П-31-74.

Границы I пояса ЗСО водозабора подземных вод в системах искусственного пополнения устанавливаются на расстояниях: от водозаборных сооружений — не менее чем на 50 м, от инфильтрационных сооружений — не менее чем на 100 м.

При создании ЗСО водозабора подземных вод существенными (с гидрогеологических позиций) являются два вопроса: во-первых, методика определения размеров ЗСО и, во-вторых, состав санитарно-оздоровительных мероприятий, назначаемых на территории различных поясов ЗСО. Чем больше размеры ЗСО, тем надежнее сохранность хорошего качества подземных вод. Вместе с тем при слишком больших размерах ЗСО вводимые ограничения в хозяйственном использовании этой территории могут привести к определенному экономическому ущербу. Наиболее актуальны эти вопросы для определения границ II пояса ЗСО.

Правильные решения данного вопроса могут быть получены при дифференцированном подходе к природной и хозяйственной обстановке в районе каждого водозабора. Наиболее существенными обстоятельствами,

которые следует при этом учитывать, являются: 1) степень опасности отдельных видов загрязнений подземных вод в условиях хозяйственного использования территории в районе водозабора; 2) гидрогеологические условия эксплуатируемого водоносного горизонта и, в частности, условия его естественной защищенности от загрязнения; 3) тип, производительность и режим эксплуатации водозабора подземных вод.

Так, мероприятия по предупреждению микробных загрязнений нецелесообразно распространять на всю территорию I и II поясов ЗСО; с учетом сроков выживаемости микроорганизмов в подземных водах, а в некоторых случаях — и с учетом их адсорбции при назначении указанных мероприятий можно ограничиться территорией, значительно меньшей, чем площадь II пояса ЗСО.

При определенных гидрогеологических условиях, зависящих от степени естественной защищенности водоносного пласта, возможен даже полный отказ от мероприятий по защите от микробных загрязнений, а иногда — и от специальных мероприятий против химического загрязнения. В других случаях может оказаться необходимым расширенный комплекс санитарно-оздоровительных мероприятий.

Непосредственное загрязнение подземных вод через неисправные буровые скважины из-за сброса сточных вод в поглощающие скважины и горные выработки, возможное при любых гидрогеологических условиях, должно быть исключено путем соответствующих мероприятий, обязательных для всех водозаборов подземных вод, независимо от гидрогеологических условий.

При обосновании II пояса ЗСО следует учитывать, что приток подземных вод к водозабору происходит только из так называемой области захвата, ограничивающейся отдельными (нейтральными) линиями тока.

Границы II пояса должны находиться на таком расстоянии от водозабора, чтобы загрязнения, попавшие в водоносный горизонт на границе или за пределами этого пояса, не достигли водозаборов. В соответствии с этим границы II пояса проводятся в основном по нейтральным (раздельным) линиям тока, которыми оконтуривается в плане область питания (область захвата) водозабора.

На открытых участках области питания водозабора, например вверх по потоку подземных вод, а также для малых водозаборов, рассчитанных на ограниченный срок эксплуатации, граница II пояса размещается так, чтобы химические загрязнения не могли достичь водозабора в течение расчетного срока эксплуатации  $t_p = 25-50$  лет.

Для незащищенных водоносных горизонтов (безнапорные пласты, а также неглубокозалегающие напорные пласты, перекрытые трещиноватыми или слабопроницаемыми породами) внутри II пояса, определенно по  $t_p = 25$  лет, целесообразно выделять санитарную зону против бактериального загрязнения. Расчетный срок для определения границы этой зоны  $t_b$  принимается равным 200—400 сут, что соответствует современным представлениям о длительности выживания бактерий в подземных водах: а) при поступлении бактериальных загрязнений в подземные воды из относительно мало загрязненных открытых водоемов — 200 сут; б) при наличии крупных и постоянно действующих источников бактериального загрязнения (поля фильтрации, скотоводческие фермы, места поступления неразбавленных сточных вод и др.) — 400 сут.

В отдельных случаях, когда возможность поступления к водозабору загрязняющих веществ на определенном участке не исключается, должно выдерживаться условие, что в смеси с водой из остальных источников питания, обеспечивающих производительность водозабора, концентрация этих веществ не будет превышать допустимой нормы.

Помимо ограничительных мер, которые следует принимать на территории II пояса, в проекте зон санитарной охраны должны быть отражены мероприятия по локализации и ликвидации загрязнения подземных вод за пределами II пояса (если такое загрязнение имеет место). Это позволит продлить эксплуатацию водозабора за пределы 25—50-летнего срока и

будет способствовать сохранению запасов пресных подземных вод в целом.

Гидрогеологические расчеты для обоснования ЗСО надо выполнять в основном по методике, соответствующей методам оценки производительности водозабора в конкретных природных условиях (в отношении выбора расчетной модели, постановки краевых условий и т. д.).

При наличии соответствующих параметров должны учитываться основные физико-химические процессы взаимодействия различных химических компонентов, поступающих в водоносный пласт извне, с природными водами и породами.

Расчеты размеров ЗСО должны входить в состав изыскательских материалов, обосновывающих эксплуатационные запасы подземных вод на участках водозабора.

Вследствие сложности гидрогеологических условий область захвата водозабора, как правило, имеет сложные геометрические очертания, выявление которых возможно только на основе графоаналитических построений с использованием карт гидроизогипс (гидроизопьез), составленных по данным полевых наблюдений и моделирования.

Если реальная гидрогеологическая обстановка может быть схематизирована и осреднена по основным расчетным параметрам (обычно это оказывается возможным в относительно простых гидрогеологических условиях, а также в сложных условиях, но на ранних стадиях проектирования), то область захвата водозабора и другие искомые величины для обоснования проекта ЗСО водозабора подземных вод можно определять путем аналитических расчетов. При этом схематизируются и сами водозаборы: обычно они представляются в виде единых групповых водозабора — «больших колодцев» или линейных рядов [Минкин, 1967, 1972; Гольдберг, 1976; Проектирование..., 1976; Бочевер и др., 1979; и др.].

В безнапорных водоносных горизонтах, а также в неглубоко залегающих напорных пластах, перекрытых сверху слабопроницаемыми отложениями (двухслойные системы), при определении положения границы ЗСО для защиты от бактериальных загрязнений целесообразно учитывать время  $t_0$  просачивания загрязненных вод по вертикали до основного эксплуатируемого пласта, т. е. принимать

$$t_p = t_0 - t_0. \quad (8.3)$$

Величина  $t_0$  приближенно может быть определена по следующим формулам:

1) при малой интенсивности инфильтрации загрязненных вод ( $\varepsilon < k_0$ ,  $k_0$  — коэффициент фильтрации пород зоны аэрации), т. е. когда инфильтрация происходит с неполным насыщением пор водой

$$t_0 \approx \frac{n_0 m_0}{3 \sqrt{\varepsilon^2 k_0}}; \quad (8.4)$$

2) при значительной интенсивности инфильтрации ( $\varepsilon > k_0$ ), т. е. при полном насыщении пор

$$t_0 \approx n_0 m_0 / k_0; \quad (8.5)$$

3) при двухслойном строении пласта

$$t_0 \approx n_0 m_0^2 / k_0 \Delta H. \quad (8.6)$$

В формулах (8.4)—(8.6)  $n_0$  и  $m_0$  — пористость и мощность пород над эксплуатируемым пластом (в 1-м и 2-м случаях — это породы зоны аэрации, в 3-м случае — породы верхнего слабопроницаемого слоя),  $\Delta H$  — разность уровней воды основного и покровного слоев (для 3-го случая).

Санитарно-оздоровительные мероприятия на территории ЗСО во II поясе назначаются с учетом гидрогеологических условий, естественной защищенности водоносного пласта и видов возможных загрязнений. Целесообразно выделить три комплекса санитарно-оздоровительных мероприятий: 1 — обязательные мероприятия; 2—3 — дополнительные ме-

роприятия, направленные против химического и биологического загрязнения при недостаточной естественной защищенности водоносного пласта.

В первый комплекс входят санитарно-оздоровительные мероприятия, обязательные при любых гидрогеологических и хозяйственных условиях, независимо от видов возможного загрязнения и естественной защищенности водоносного пласта. Эти мероприятия назначаются на всей территории II пояса ЗСО, ограниченной отдельными линиями тока и контурами, проведенными, исходя из расчетного времени  $t_p = 25$  лет.

Здесь относятся следующие обязательные мероприятия и ограничения: 1) все виды строительства проводятся с разрешения органов санитарно-эпидемиологической и гидрогеологической служб; 2) запрещаются такие работы в земных недрах, которые могут вызвать загрязнение эксплуатируемого водоносного горизонта (сброс и захоронение сточных вод, разведочные работы на нефть, газ и т. п.); 3) ликвидируются бездействующие, дефектные, неправильно эксплуатируемые скважины и горные выработки, вызывающие опасность загрязнения водоносного горизонта; это должно производиться с восстановлением первоначальной защищенности горизонта по утвержденному проекту под надзором санитарного врача и гидрогеолога.

Во второй комплекс должны входить дополнительные санитарно-оздоровительные мероприятия и ограничения, назначаемые при отсутствии естественной защищенности от химических загрязнений. Они вводятся на всей территории II пояса ЗСО с отдельными линиями тока и контурами, построенными на  $t_p = 25$  лет, и включают следующие ограничения: 1) запрещается строительство фильтрующих накопителей, испарителей и отстойников сточных вод, хвосто- и шламохранилищ, гидрозолоотвалов ТЭЦ, полей фильтрации промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод; 2) запрещается строительство новых крупных предприятий с большим количеством технологических и сточных вод, а также газодымовых выбросов в атмосферу; 3) контролируется работа и изменение технологии всех действующих предприятий для предотвращения утечек и инфильтрации неочищенных сточных вод, растворения отходов и сырья атмосферными осадками, поступления в атмосферу вредных газодымовых выбросов; 4) существенно ограничивается и контролируется применение сельскохозяйственных минеральных удобрений, сельскохозяйственных и лесозащитных ядохимикатов.

В третий комплекс должны входить дополнительные санитарно-оздоровительные мероприятия и ограничения, осуществляемые при отсутствии естественной защищенности от биологических загрязнений. Эти мероприятия назначаются вблизи водозабора по контуру  $t_6 = 200$  сут или  $t_6 = 400$  сут в зависимости от массивности микробного загрязнения. К ним относятся следующие меры: 1) запрещается устройство котлованов, выемок, карьеров, нарушающих защитный слой над водоносным горизонтом, а также крупных животноводческих комплексов, ферм и скотных дворов, скотомогильников, земледельческих полей орошения; 2) ограничивается применение навозных удобрений и запрещается использование для орошения сточных вод; 3) для промышленных предприятий, населенных пунктов и жилых зданий должны быть предусмотрены: организованное водоснабжение, обязательное канализование зданий со сбросом очищенных вод вне территории II пояса ЗСО, регулирование и организация отвода загрязненных поверхностных стоков.

Назначение одного или нескольких комплексов санитарно-оздоровительных мероприятий во II поясе ЗСО следует проводить в соответствии с естественной защищенностью водоносного пласта. В зависимости от местных санитарных и хозяйственных условий на территории II пояса ЗСО состав санитарно-оздоровительных мероприятий по предупреждению загрязнения подземных вод и связанных с ними поверхностных вод может быть видоизменен и дополнен.

Необходимость создания III пояса ЗСО, как отмечено выше, определяется задачами долговременной охраны качества подземных вод, исполь-

зубаемых для крупного централизованного водоснабжения. Пояс III ЗСО целесообразно устанавливать для крупных водозаборов подземных вод производительностью более 50 000 м<sup>3</sup>/сут в случае, если гидрогеологическими и санитарно-гигиеническими обследованиями за пределами предпологаемых границ II пояса ЗСО установлены объекты (промышленные, сельскохозяйственные, жилые и др.), загрязнившие водоносный горизонт или угрожающие ему загрязнением. Санитарно-оздоровительные мероприятия на территории III пояса ЗСО должны быть направлены на ликвидацию источников загрязнения подземных и связанных с ними поверхностных вод, а также на локализацию очагов загрязнения, создавшихся в водоносном пласте.

Детальный состав и технико-экономическое обоснование этих мероприятий, зависящие от характера источника загрязнений, масштаба загрязнения подземных вод и гидрогеологических условий, должны быть разработаны по специальному проекту.

В составе проекта ЗСО следует предусматривать организацию сети режимных наблюдательных скважин, располагаемых по поперечникам от ближайших существующих, ликвидированных, потенциально опасных источников и очагов загрязнения до границ II пояса ЗСО, а в случае необходимости — до границ I пояса ЗСО.

Состав и методика наблюдений за режимом и качеством подземных вод должны быть определены по специальной программе, разрабатываемой гидрогеологической изыскательской организацией, проводившей разведку подземных вод, и согласованной с органами санэпидслужбы.

### 8.3. СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Помимо описанных выше мероприятий общего характера для защиты подземных вод от загрязнения применяются специальные мероприятия как для предупреждения загрязнения, так и при необходимости для локализации или ликвидации уже создавшегося в водоносном пласте участка загрязненных подземных вод.

Специальные мероприятия осуществляются с помощью разнообразных инженерных сооружений, схема расположения которых, тип и конструкция определяются гидрогеологическими условиями, характером источника загрязнения, масштабами произошедшего загрязнения, характером и значением объекта защиты — водоносный горизонт в целом, отдельные водозаборы подземных вод, поверхностный водоток и т. д.

Тип специальных защитных мероприятий по борьбе с загрязнением подземных вод следует назначать и выбирать в соответствии с результатами разработки технико-экономического обоснования проекта защиты, в котором рассматриваются и сопоставляются, с одной стороны, размеры ущерба народному хозяйству от загрязнения подземных вод и с другой — стоимость различных вариантов защиты. При этом должны быть также выбраны источники водоснабжения, оценена обеспеченность района подземными водами и учтены экономические аспекты данного вопроса, не поддающиеся непосредственной экономической оценке.

**Профилактические мероприятия.** Для защиты водоносных горизонтов, не имеющих водоупорной кровли, от случайных утечек и фильтрации сточных и технологических вод на промплощадках из отдельных цехов и емкостей для хранения жидкого сырья и продуктов производства, основания указанных сооружений и емкостей должны иметь, прежде всего, надежную гидроизоляцию; во многих случаях целесообразна укладка пластикового дренажа, устраиваемого в виде песчаного слоя, который отсыпается по дну котлована под сооружение. Песок прорезается водоотводными призмами, выполненными из гравия, щебенки, камня; в качестве обязательного конструктивного элемента в основании дренажа должен быть создан водонепроницаемый экран из глинобетона, полиэтиленовой плен-

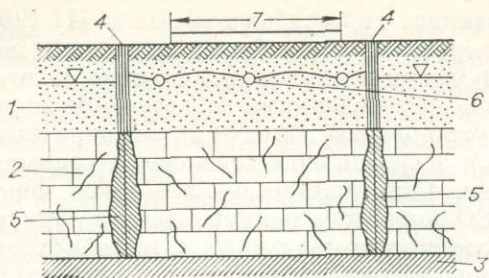


Рис. 8.4. Комбинированная кольцевая противофильтрационная завеса и дренаж для защиты подземных вод от инфильтрующихся стоков.

1—3 — породы: песчано-гравелистые, 2 — скальные трещиноватые водопроницаемые, 3 — водоупорные; 4 — противофильтрационная барражная стенка; 5 — цементационная завеса; 6 — дренаж; 7 — территория промплощадки — источник загрязнения подземных вод.

ки или другого нефилтующего материала. Сточные воды и технологические растворы, которые при аварийных разливах могут проникнуть в грунт, будут в этом случае перехватываться фильтрующими элементами пластикового дренажа и по дренажным трубам отводиться к водоприемнику для перекачки и последующей утилизации ценных компонентов или очистки от загрязнений. Аналогичные по конструкции дренажи, но линейного типа следует устраивать вдоль всех водонесущих коммуникаций — пульпо- и трубопроводов, вдоль внутривоздушных транспортных магистралей, где также возможны случайные разливы сточных и технологических вод.

На участках, выбранных для погрузки, разгрузки и складирования растворимого сырья, продукции, промышленных и хозяйственно-бытовых отходов, при угрозе загрязнения подземных и поверхностных вод в основании также устраиваются дренирующий слой и под ним экран из утрамбованной глины, глино- и асфальтобетона и других нефилтующих материалов.

При неглубоком залегании водоупора группа зданий или вся промплощадка может быть изолирована от чистых подземных вод с помощью кольцевой водонепроницаемой завесы, а также стенки или их комбинации в сочетании с дренажем, отбирающим инфильтрующиеся сточные воды и атмосферные осадки (рис.8.4). При глубоком залегании водоупора защита подземных вод на промплощадке может быть обеспечена с помощью системы вертикального дренажа, состоящего из откачных скважин непрерывного действия; создающаяся при этом депрессионная воронка должна охватывать всю территорию с возможными утечками загрязненных вод. При отсутствии утечек откачиваемая вода может использоваться для технического водоснабжения; при аварийных разливах для скорейшего отбора загрязненных веществ расход ближайших откачных скважин должен быть увеличен. Контроль и управление дренажной системой обеспечиваются с помощью наблюдательных скважин, по которым устанавливаются уровни и качество подземных вод.

На промышленных площадках с повышенным загрязнением воздуха и почв сбору и очистке подлежат также ливневые воды.

Все промышленные бассейны, в которых складированы загрязненные сточные воды и отходы (шламохранилища, накопители, испарители, гидрозолоотвалы и др.), должны быть нефилтующими. Это может быть достигнуто в отдельных случаях путем выбора места расположения сооружения, но в основном — с помощью различных противофильтрационных и дренажных устройств, создаваемых в теле плотины или дамбы шламохранилища [Недрига, 1976; и др.].

Помимо выполнения чисто гидротехнических задач (снижение фильтрации через плотину для повышения ее устойчивости и исключение опасных фильтрационных деформаций грунта) названные противофильтрационные устройства, как отмечалось выше, предназначаются для полной задержки сточных вод в хранилище. Поэтому они должны устраиваться из практических непроницаемых материалов — полимерных пленок, битумных покрытий, глинобетона и лишь в отдельных случаях — из уплотненных глинистых грунтов с очень низкой водопроницаемостью.

Противофильтрационные элементы тела и основания плотины шламохранилища — экран, зуб, понур, ядро (диафрагма) (рис. 8.5) — должны

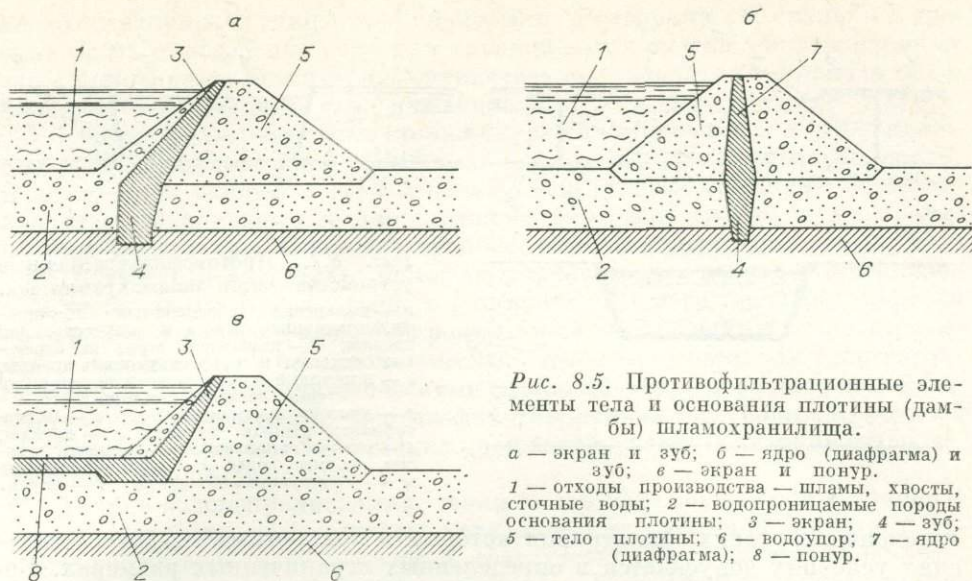


Рис. 8.5. Противофильтрационные элементы тела и основания плотины (дамбы) шламохранилища.

*a* — экран и зуб; *б* — ядро (диафрагма) и зуб; *в* — экран и понур.

1 — отходы производства — шламы, хвосты, сточные воды; 2 — водопроницаемые породы основания; 3 — экран; 4 — зуб; 5 — тело плотины; 6 — водоупор; 7 — ядро (диафрагма); 8 — понур.

перерезать всю толщу водопроницаемых пород и надежно сопрягаться с водоупором. Дренажные устройства шламохранилищ размещаются в нижней части тела плотины в виде наклонного, трубчатого, ленточного и других дренажей. В береговых примыканиях плотин, создаваемых на шламохранилищах овражно-балочного типа, противофильтрационные элементы имеют вид вертикальной завесы, заходящей в берег по линии оси плотины или перпендикулярно ей, т. е. вдоль берега; иногда завеса дополняется непроницаемым экраном на береговом откосе.

Противофильтрационные и дренажные устройства в нижнем бьефе шламохранилищ предназначаются для аккумуляции стоков, профильтровавшихся через тело, основание и в обход плотины, и перекачки их в шламохранилище или в систему оборотного промышленного водоснабжения. Эти устройства представляют собой фронтальную завесу, перерезающую водопроницаемую часть толщ основания, в сочетании с системой дренажа из ряда скважин, галерей и др. (рис. 8.6).

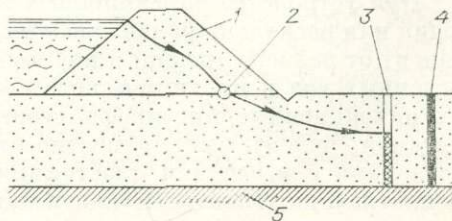
В чаше шламохранилища при неглубоком залегании водоупорных пород противофильтрационные устройства выполняются в виде кольцевой совершенной завесы (рис. 8.7, *a*) или кольцевого непроницаемого экрана с сопутствующим дренажем (рис. 8.7, *б*). При глубоком залегании водоупорных пород и низком естественном уровне подземных вод по всей чаше шламохранилища устраивается пластовый экран из водонепроницаемого материала, прикрытого защитным слоем из местного грунта (рис. 8.7, *в*).

Однослойный экран устраивается из стабилизированной полиэтиленовой пленки толщиной 0,2—0,6 мм, укладываемой на слой песчаной подготовки, либо из асфальтополимербетона или грунтово-полимерной смеси, покрытых сверху латексом; в отдельных случаях экран возводится из уплотненного глинистого грунта.

Однослойные экраны, в особенности глинистые, обладают некоторой, хотя и низкой, водопроницаемостью и поэтому применяются лишь при ма-

Рис. 8.6. Перехватывающий дренаж в нижнем бьефе шламохранилища.

1 — плотина; 2 — дренаж тела плотины; 3 — перехватывающие дренажные скважины в нижнем бьефе; 4 — противофильтрационная стенка (завеса); 5 — водоупор.



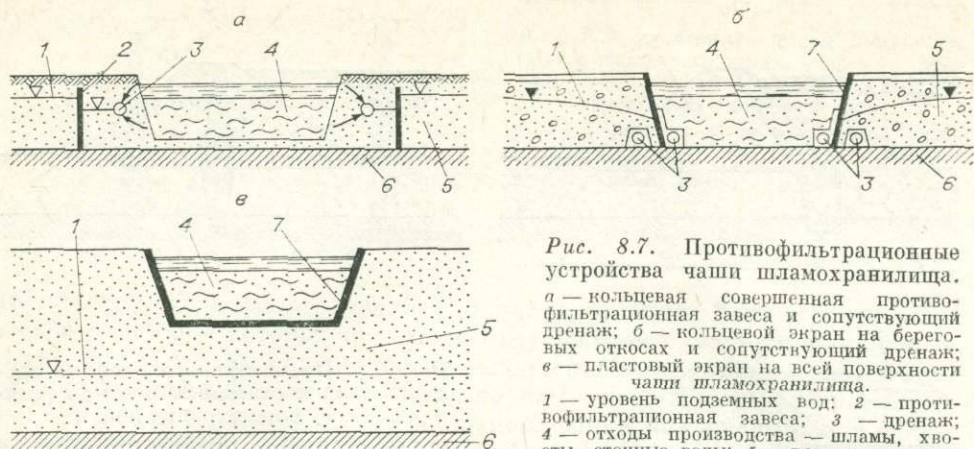


Рис. 8.7. Противофильтрационные устройства чаши шламохранилища.  
*а* — кольцевая совершенная противофильтрационная завеса и сопутствующий дренаж; *б* — кольцевой экран на береговых откосах и сопутствующий дренаж; *в* — пластовый экран на всей поверхности чаши шламохранилища.  
 1 — уровень подземных вод; 2 — противофильтрационная завеса; 3 — дренаж; 4 — отходы производства — шламы, хвосты, сточные воды; 5 — водопроницаемые и 6 — водоупорные породы; 7 — экран.

лотоксичных стоках, фильтрация которых в конкретных гидрогеологических условиях допускается в определенных ограниченных размерах. Более надежны двухслойные экраны, в которых верхний и нижний слой выполняются из пленки или малопроницаемого глинистого грунта, а разделяющий их дренажный слой — из песка или гравия. Профильтровавшаяся через верхний слой загрязненная вода может быть отведена из дренажного слоя опять в шламохранилище. При необходимости в дренажном слое создается вакуум или, наоборот, давление, превышающее давление жидкости в шламохранилище и препятствующее ее фильтрации.

Применяются также комбинированные экраны, состоящие из стабилизированной полиэтиленовой пленки или из асфальтового покрытия и вышележащих слоев уплотненного глинистого грунта. Существуют также другие схемы и конструкции пластовых водонепроницаемых экранов, которые во всех случаях, как уже отмечалось, должны иметь сверху защитный слой из местного грунта. Фильтрационные расчеты противофильтрационных и дренажных устройств в шламохранилищах приведены в работах В. П. Недриги [1976] и др.

Для предотвращения фильтрации загрязненных подземных вод из земляных емкостей — накопителей сточных вод — и на промплощадках в отдельных случаях возможно использование гидравлической завесы в виде совершенной траншеи, заполненной водой, или в виде ряда скважин, в которые нагнетается чистая вода с напором, превышающим напор (уровень) загрязненных подземных вод. Недостаток гидравлических завес — затраты чистой воды для непрерывной закачки, а в отдельных случаях — необходимость в одновременной откачке загрязненных и чистых подземных вод.

Водонепроницаемые вертикальные преграды на пути движения загрязненных подземных вод (см. рис. 8.4, 8.6, 8.7) могут быть созданы либо в результате нагнетания через скважины растворов, заполняющих поры и трещины и придающих породе водонепроницаемость (противофильтрационные инъекционные завесы), либо путем выемки водопроницаемых пород и замены их водонепроницаемым материалом (противофильтрационные стенки-барражи).

При устройстве инъекционных завес нагнетание раствора проводится в один или несколько рядов скважин, причем выбор нагнетаемого вещества зависит от размера трещин и пор породы, а также от скорости фильтрации подземных вод и их химического состава. В песчано-галечниковых породах инъекционные противофильтрационные завесы создаются путем цементации цементными, цементно-глинистыми и цементно-коллоидными растворами с введением пластифицирующих и пептизирующих добавок; силикатизации; электросиликатизации; смолизации различными смолами с глинистым наполнителем; холодной битумизации; глинизации глинисты-

ми суспензиями и глинисто-силикатными растворами. В скальных трещиноватых породах для создания инъекционных противofильтрационных завес применяются цементация, силикатизация, холодная и горячая битумизация, глинизация, замораживание.

Противofильтрационные стенки-барражи устраиваются в виде сплошного ряда смыкаемых набивных свай или в виде узкой траншеи, щели. Для создания набивных свай используются буровые скважины большого диаметра, заполненные бетоном, глинобетоном или другим водонепроницаемым материалом. Проходка траншей осуществляется под слоем тяжелого глинистого раствора с помощью экскаваторов, канатных скреперов или специальных бурofрезерных установок. По мере проходки траншея постепенно заполняется водонепроницаемым твердеющим или нетвердеющим материалом — бетонной смесью, цементно-глинистым раствором, смолами, рулонными синтетическими пленками и др. Возможно также создание комбинированной противofильтрационной преграды: в верхней части водоносных пород — стенка, в нижней части — инъекционная завеса (см. рис. 8.3).

Тонкие водонепроницаемые стенки ( $\sim 0,5$  м) устраиваются с помощью вибропогружения и извлечения металлических свай или шпунта с одновременным заполнением прорези, создающейся при извлечении шпунта, цементно-глинистым или другим раствором. В несвязных грунтах противofильтрационная стенка может быть также создана из сборных легкоармированных железобетонных элементов-гидрошпунтов, в которые для погружения подаются вода и воздух, а для закрепления — цемент.

В сложных природных условиях приходится применять комплекс специальных инженерных мероприятий. Так, например, для защиты подземных и поверхностных вод в районе проектируемого предприятия по добыче калийных солей намечены: 1) горизонтальные дрены, перехватывающие из верхней части водоносного горизонта засоленные подземные воды, дренирующиеся на склонах возвышенности, на которой расположены шахты, обогатительная фабрика и другие объекты калийного комбината; 2) кольцевой вертикальный дренаж, перехватывающий загрязненные воды, поступающие в нижнюю часть водоносной толщи; 3) сбор минерализованного поверхностного стока с территории комбината и подземных вод, поступающих в горизонтальные и вертикальные дренажи, с использованием этих вод в системе производственного оборотного водоснабжения; 4) экранирование дна и откосов солевотвала и рассолосборника.

**К локализационным мероприятиям** при защите подземных вод от загрязнения приходится обращаться в тех случаях, когда участок водоносного пласта оказался уже загрязненным. Сформировавшийся в пласте очаг загрязнения даже после ликвидации источника загрязнения может распространяться в естественном потоке подземных вод в направлении рек, озер и загрязнять их. Особенно значительна скорость распространения загрязнения при работе водозаборов, размещенных вблизи очага загрязнения. В связи с этим должен быть определен оптимальный режим отбора чистых подземных вод, при котором не привлекались бы воды с уже загрязненных участков или их поступление сводилось бы к минимуму.

Локализационные мероприятия, ограничивающие продвижение загрязнений по водоносному пласту от очага загрязнения, могут быть осуществлены в зависимости от гидрогеологических условий с помощью преграждающих либо перехватывающих устройств. Преграждающие устройства имеют такие же конструкции, как описанные выше противofильтрационные завесы — стенки-барражи профилактического назначения. Как правило, завесы и стенки должны быть доведены до водоупора и лишь в особых случаях могут пересекать отдельные части водоносного пласта, например наиболее водопроницаемые верхние или нижние части, по которым распространяются легкие или тяжелые сточные воды и т. п. В этих же целях могут использоваться гидрозавесы из нагнетательных скважин, заполненные водой глубокие траншеи и т. п.

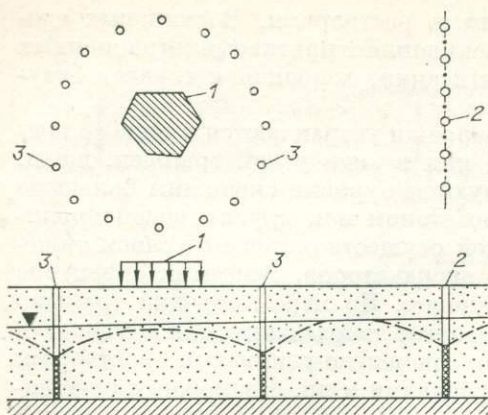


Рис. 8.8. Кольцевая система дренажных скважин для защиты водозабора подземных вод от загрязнения.

1 — источник загрязнения; 2 — водозабор подземных вод; 3 — дренажные скважины.

Перехватывающие устройства имеют вид контурных, кольцевых, линейных и других систем скважин или горизонтальных дрен, из которых ведется откачка подземных вод для создания депрессионной воронки на пути между очагом загрязнения и водозабором, а также между рекой и другим

защищаемым объектом (рис. 8.8). Место расположения указанных противифльтрационных устройств и режим их работы должны быть определены путем гидродинамических расчетов с учетом действующих и проектируемых водозаборов, водопонизительных установок, наличия участков усиленной фильтрации (из водоемов, промышленных бассейнов) и других источников гидродинамического воздействия на водоносный пласт. В случаях, когда загрязнения концентрируются на поверхности водоносного пласта (например, при утечках легких нефтепродуктов) или в его нижней части (при утечках рассолов), целесообразно устройство ярусной системы скважин, откачивающих воду с различных глубин, что помогает очищать и использовать воды различной степени загрязнения.

В сложных гидрогеологических условиях гидродинамические расчеты перехватывающих и противифльтрационных устройств выполняются методами аналогового моделирования и с помощью ЭВМ.

При создании перехватывающих устройств обычно возникает проблема использования и сброса откачиваемых загрязненных вод. Последние иногда могут быть применены в технических целях, однако дальнейший сброс их в фильтрующие земляные емкости или реки без соответствующей очистки недопустим. Вместе с тем производительность необходимых для очистки дренажных вод специальных очистных сооружений должна во много раз превышать производительность сооружений для очистки собственно сточных вод производства, вызвавшего загрязнение подземных вод. Именно этим чаще всего объясняется высокая стоимость перехватывающих устройств в проектах локализационных мероприятий. При благоприятных гидрогеологических условиях и небольшом расходе откачиваемых загрязненных вод последние могут быть удалены в глубокие пласты земной коры.

**Восстановительными мероприятиями** ликвидируют загрязнение водоносного горизонта и восстанавливают природное качество подземных вод. Они могут быть осуществлены извлечением из пласта через дренажные скважины всего объема загрязненной воды либо интенсивной промывкой пласта с помощью нагнетаний и откачек вод или специальных растворов через систему нагнетательных и откачных скважин.

Эта задача реальна лишь при небольших размерах очага загрязнения и особо благоприятных гидрогеологических условиях. Немаловажное значение при этом имеют химический состав и форма нахождения загрязняющих веществ в водоносном пласте. В большинстве случаев восстановительные мероприятия являются дорогостоящими и требуют много времени. Можно считать, что их целесообразно проводить лишь при локализации очага загрязнения.

#### 8.4. ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ

Любое производство стремится ограничить утечку и сброс сточных вод в открытые водоемы, прибегая к водоснабжению по замкнутому циклу. В какой-то степени загрязнители улавливаются очистными установками (80—95%), но даже на образцовых предприятиях особо вредные компоненты требуют специального удаления. Строго обоснованных мероприятий, полностью исключающих загрязнение окружающей среды при ликвидации жидких отходов, пока нет.

Утилизация наиболее вредных стоков производится двумя путями: 1) выпаривания (с последующим складированием твердых отходов в специальных «могильниках», располагающихся в водонепроницаемых толщах — глинах или соляных пластах); 2) подземного захоронения в жидком виде. Оба способа следует рассматривать как вынужденные и временные, так как они не гарантируют абсолютной санитарной безопасности, хотя по сравнению со сбросом в открытые водоемы и являются гораздо меньшим злом. Опасно в том числе и подземное захоронение сточных вод промышленных предприятий, т. е. так называемых промстоков, на чем необходимо остановиться подробнее, поскольку промышленное загрязнение — главный и самый опасный вид загрязнения.

В связи с бурным развитием промышленности и ужесточением контроля за охраной поверхностных вод подземное захоронение стоков получило признание у нас и за рубежом. Традиционно с древних времен почва и подстилающие слои служили местом удаления всего, от чего человек стремился избавиться. Преимущества подземного захоронения сточных вод заключаются в экономической эффективности, уменьшении загрязнения поверхностных вод и достаточной надежности с санитарной точки зрения, когда захоронение производится в благоприятных геолого-гидрогеологических условиях. К числу недостатков относятся невозможность в ряде случаев контроля за распространением в водоносном горизонте загрязняющих веществ и определенные трудности, связанные с техникой сброса промышленных стоков.

Подземное захоронение промстоков применяется более 50 лет в Европе (ГДР и ФРГ). Широко этот метод используется в США: за 1963—1973 гг. объем стоков, закачиваемых в недра земли, увеличился в десятки раз, количество поглощающих полигонов — с 15 до 275, а число скважин достигает 18 тыс. В 96% случаев сброс ведется в осадочные породы [Гавев, 1981]. Наиболее типичны установки из 1—5 скважин глубиной 1300—2000 м и общим расходом стоков 500—5000 м<sup>3</sup>/сут. В СССР, где подземное захоронение ведется с 50-х годов XX в., объем захороняемых промстоков с 1965 по 1975 г. значительно увеличился.

Таким образом, подземное захоронение ограниченного объема наиболее токсичных сточных вод и отходов является одним из методов охраны окружающей среды. Поскольку при подземном захоронении может возникнуть опасность загрязнения резервуаров пресных подземных вод, применение этого метода требует специального гидрогеологического, технического и санитарно-гигиенического обоснования. «Основы законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах» разрешают использование недр земли для захоронения сточных вод только в исключительных случаях.

С санитарно-гигиенических позиций захоронение промышленных стоков весьма опасно проводить в зоне интенсивного водообмена, когда подземные воды на обширной площади или на длительное время подвергаются загрязнению. Примером служит утилизация радиоактивных стоков на Хенфордском атомном заводе (США). Здесь сброс производится в гравийно-песчано-глинистые отложения плейстоцена мощностью 100—200 м, залегающие на водоупоре из базальтов [Белицкий, Орлова, 1968]. При вертикальной фильтрации стоков в сухих породах до уровня подземных

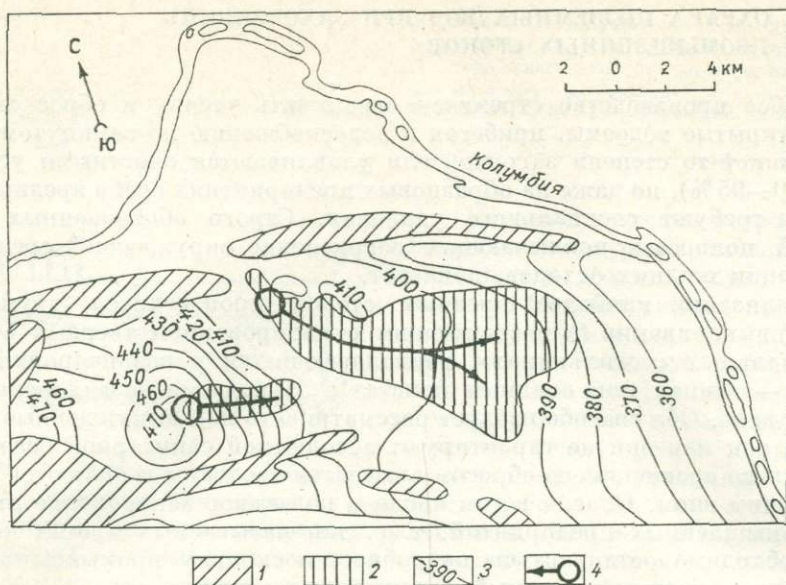


Рис. 8.9. Распространение радиоактивных отходов в Хенфорде, США [Белицкий, Орлова, 1968].

1 — залегание базальтов выше уровня грунтовых вод; 2 — площади содержания трития в грунтовых водах на уровне  $8 \cdot 10^{-11}$  г/л; 3 — гидрозоопилы; 4 — места сброса жидких радиоактивных отходов.

вод (70—100 м) сорбируются цезий-137, стронций-90, кобальт-60 и рутений-106. В водоносном горизонте на большие расстояния (до 13 км) продвигается только тритий и частично рутений-106. Наиболее интенсивное движение этих веществ отмечается в древней долине р. Колорадо, которая дренирует водоносный горизонт (рис. 8.9).

Менее уязвимы пресные подземные воды и связанные с ними поверхностные водотоки в случае захоронения промышленных стоков в глубокие горизонты, надежно изолированные водоупорами. Однако здесь, за редким исключением, низка водопоглотительная способность. Поэтому поиски мест для сброса стоков — весьма сложная проблема. Основное требование, которому должны отвечать подземные резервуары, заключается в том, чтобы захоронение вредных веществ не привело со временем к загрязнению окружающей среды. К сожалению, получить такую гарантию бывает очень трудно.

На возможность проникновения закачиваемых стоков из глубоких горизонтов в верхние указывает следующий факт. В бассейне р. Верра (ГДР и ФРГ) сточные воды калийных предприятий длительного время (с 1925 г.) сбрасываются в плитчатые доломиты перми (рис. 8.10). Мощность пласта 20—30 м, он хорошо изолирован сверху и снизу. Количест-

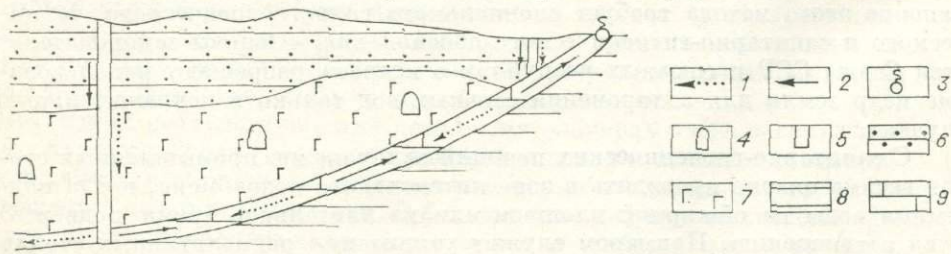


Рис. 8.10. Принципиальная схема закачки сточных вод калийных предприятий в плитчатые доломиты перми в области Верра [Пиннекер, 1979].

1 — пути миграции сточных вод до 1967 г.; 2 — то же, после 1967 г.; 3 — источник; 4 — подземные горные выработки; 5 — поглощающие скважины; 6 — песчано-глинистые отложения; 7 — соленосная формация; 8 — подстилающий водоупор; 9 — плитчатые доломиты.

во сбрасываемых стоков быстро росло. И если вблизи области питания сброс в скважины продолжался самотеком, то в области погружения (глубина более 600 м) с 1967 г. стали применять нагнетание. При этом оно производится с таким большим давлением, что закачиваемые стоки из глубоких горизонтов продавливаются по пласту вверх до области питания и разгружаются на поверхности. Сразу увеличился дебит действующих источников и появились новые, резко возросла минерализация соленых вод и рассолов.

Для подземного захоронения обычно выбираются глубокозалегающие водоносные пласты, соленые воды которых непригодны для использования в хозяйственно-питьевых или лечебных целях и не содержат ценных компонентов для промышленного извлечения. Вместе с тем коллекторские свойства пласта должны быть достаточны для поглощения заданного количества сточных вод. Подземное захоронение сточных вод проводится также в изолированные пласты, в герметичные подземные емкости, например в выработки соляных шахт, а также в отработанные месторождения нефти и газа.

При отсутствии соответствующих естественных коллекторов подземные хранилища создаются искусственно: для этого в мощных пластах каменной соли применяется гидроразмыв, в слабопроницаемых породах — гидроразрыв пласта, в монолитных скальных породах — взрывы большой мощности. В последнем случае нагнетаемые сточные воды занимают пустоты столба обрушения и зону повышенной трещиноватости вблизи него.

Часть пласта, где размещаются нагнетаемые сточные воды, служит собственно подземным хранилищем, которое вместе с нагнетательными скважинами и другими сопутствующими подземными и надземными сооружениями образует систему подземного захоронения.

Чтобы избежать загрязнения вышележащих горизонтов пресных, минеральных, промышленных вод, месторождений полезных ископаемых, используемые для подземного захоронения водоносные или газонасыщенные пласты и подземные емкости должны быть надежно изолированы; сверху подземные хранилища должны быть перекрыты мощной выдержанной толщей практически водоупорных пород — глин, слаботрещинчатых сланцев, аргиллитов, алевролитов; при этом область разгрузки используемого для захоронения водоносного горизонта должна находиться далеко от нагнетательных скважин, чтобы захороняемые сточные воды не могли подняться к поверхности земли, оказать неблагоприятное влияние на другие водоносные горизонты и т. д. Выбор пласта-коллектора, способного вместить намеченный объем сточных вод, и определение степени надежности изоляции намечаемого подземного хранилища от пресных подземных вод, ближайших месторождений ископаемых и подобных объектов проводятся на основании комплексных изысканий и исследований.

Специально разрабатывается технологическая схема подготовки сточных вод к подземному захоронению, которая должна обеспечить длительную работу нагнетательных скважин. В технологическую подготовку могут входить усреднение состава сточных вод, изменение рН среды, химическая обработка сточных вод в целях коагуляции и удаления некоторых компонентов (например, солей железа, кальция, алюминия) или для стабилизации других компонентов путем перевода их в растворимое состояние. После усреднения и химической обработки твердая фаза из сточных вод удаляется путем отстаивания или фильтрации. Для проверки эффективности технологической подготовки стоков на выбранном для подземного захоронения участке выполняется опытно-промышленное нагнетание сточных вод.

Опыт подземного захоронения показывает, что даже при надлежащей технологической подготовке сточных вод со временем все же происходит уменьшение приемистости скважин, связанное с коагуляцией фильтров и пласта осадками и взвесями, поступающими со сточными водами и обра-

зующимися в пласте в результате химических реакций между сточными пластовыми водами и породами. Кроме того, может измениться гранулометрический состав пород пласта-коллектора из-за растворения, разбухания, засоления и т. п.

Для восстановления приемистости нагнетательной скважины периодически производится ее регенерация — промывка специально подобранными разбавленными растворами; при этом продукты реакций не выносятся на поверхность, а продавливаются в пласт.

Вместе с захороняемыми сточными водами в глубокие горизонты могут быть занесены микроорганизмы. При наличии в сточных водах органических веществ в призабойной зоне возможно развитие серо- и железобактерий, появление метана. При значительной агрессивности захороняемых сточных вод трубы, фильтры, насосы и другое оборудование должны иметь защитное покрытие или изготавливаться из антикоррозийных материалов. Во избежание поступления захороняемых веществ в вышележащие породы в стволе нагнетательной скважины устанавливаются несколько колонн труб с цементацией затрубного пространства между ними.

В целях охраны окружающей среды в районах подземного захоронения устанавливается санитарно-защитная зона (СЗЗ), состоящая из трех поясов. Первый пояс охватывает все нагнетательные скважины и основные сооружения системы подземного захоронения; при этом граница первого пояса проводится не ближе чем на 20 м от нагнетательных и на 10—20 м от наблюдательных скважин; размещение объектов, не входящих в систему подземного захоронения, здесь не допускается. Внешняя граница второго пояса проводится по расчетному контуру, на котором на конец периода эксплуатации системы концентрация захороняемых загрязняющих веществ в пласте-коллекторе не превысит значений ПДК.

В пределах второго пояса в водоносных горизонтах, залегающих выше пласта-коллектора и выше покрывающей его водоупорной толщи, добыча воды, нефти, газа и других полезных ископаемых допускается, если это не оказывает неблагоприятного влияния на работу системы подземного захоронения; в водоупорной толще, перекрывающей пласт-коллектор, строго регламентируется бурение глубоких скважин; непосредственно из пласта-коллектора добыча воды не разрешается. Территория второго пояса может использоваться для сельскохозяйственных целей.

Третий пояс санитарно-защитной зоны является внешним по отношению ко второму. В пределах этого пояса разрешается использование земных недр, в том числе и пласта-коллектора, в любых целях, но при условии, что к намечаемым скважинам, шахтам и другим сооружениям за период их эксплуатации подтягивание загрязняющих веществ с участка подземного захоронения не произойдет.

Положение границ второго и третьего поясов санитарно-защитной зоны устанавливается гидродинамическими расчетами.

Дорогостоящие поисковые и разведочные работы, необходимость бурения и оборудования глубоких нагнетательных, резервных, а иногда и разгрузочных скважин, строительство и эксплуатация очистных сооружений для технологической подготовки воды, ограничения в отношении возможного расхода нагнетания сточных вод обуславливают высокую стоимость подземного захоронения. Лишь в случаях, когда сточные воды захороняются в отработанные месторождения нефти и газа или используются для внутри- и законтурного заводнения нефтяных месторождений, как, например, в Башкирии, стоимость захоронения снижается.

На рис. 8.11 показан полигон захоронения жидких отходов Димитровградской атомной электростанции, находящийся в центральной части Мелекесской впадины [Белицкий, 1976]. В отличие от бассейна р. Вера поглощающие горизонты тут удалены на 100—120 км от области питания и имеют глубину 1100—1500 м, что обеспечивает надежную изоляцию захороняемых стоков. В течение первых семи лет эксплуатировалась одна скважина, поглощавшая 250—350 м<sup>3</sup>/сут отходов при рабочем давлении в устье 40—50 кгс/см<sup>2</sup>. В 1973 г. в строй введены две скважины, ко-

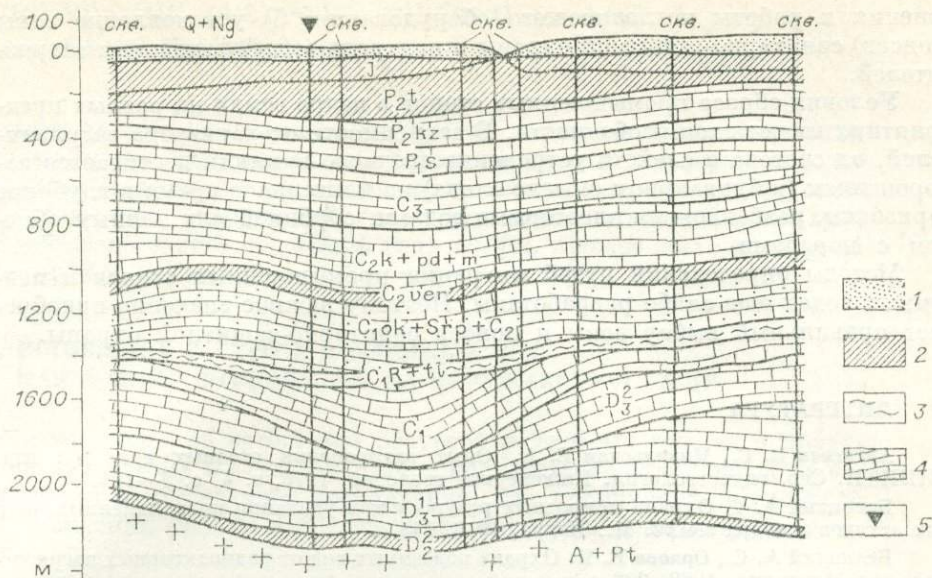


Рис. 8.11. Геологический разрез полигона захоронения сточных вод Димитровградской АЭС [Белицкий, 1976].

1 — пески; 2 — глины; 3 — алевролиты, аргиллиты, песчаники; 4 — известняки, доломиты; 5 — полигон захоронения.

торые работают попеременно и имеют приемистость в 3—4 раза больше, чем у первой скважины.

Материалы гидрогеологических исследований по вопросам подземного захоронения промстоков освещены в книге «Гидрогеологические исследования...» [1976], а также работах А. Я. Гаева [1981], В. С. Алексеева, Е. А. Никольской [1976], А. С. Белицкого [1976] и др.

А. А. Маккавеев и др. [1968] выделяют следующие районы, а точнее подземные резервуары для захоронения промышленных стоков.

1. Резервуары перспективные для захоронения промышленных стоков. Они включают: а) глубокие горизонты-коллекторы, хорошо изолированные от зоны интенсивного водообмена, содержащие подземные воды с минерализацией более 10 г/л и залегающие на технически доступных глубинах (300—3000 м); б) залежи солей или соляные купола для сооружения в них искусственных емкостей. В санитарном отношении наиболее благоприятны глубокие горизонты артезианских бассейнов.

2. Резервуары возможно перспективные, но недостаточно изученные. К ним относятся подземные резервуары, геолого-гидрогеологическая изученность которых не позволяет охарактеризовать их с точки зрения условий захоронения или вызывает сомнение по ряду показателей.

3. Резервуары неперспективные для захоронения промышленных стоков: а) раскрытые резервуары подземных вод, т. е. массивы (гидрогеологические) трещинных вод; б) артезианские бассейны пресных вод; в) области питания и разгрузки глубоких водоносных горизонтов (краевые части артезианских бассейнов, зоны разломов и т. д.).

Сброс промышленных стоков в земные недра — комплексная проблема. Ее решение включает всестороннее обоснование, по крайней мере, следующих вопросов: 1) геолого-гидрогеологические показатели надежного захоронения жидких отходов и отходов промышленности; 2) количественная характеристика приемистости пластов-коллекторов, обеспечивающей возможность сброса требуемого количества стоков и их изоляцию; 3) совместимость и физико-химическое взаимодействие закачиваемых стоков с породой и пластовой водой, которые бы исключали кольматаж пласта-коллектора; 4) технико-экономический анализ эффективности захо-

ронения и работы поглощающего оборудования; 5) установление зоны (поясов) санитарно-защитной охраны и контроль за перемещением загрязнителей.

Условия сброса промышленных стоков в недра земли на разных предприятиях имеют свои особенности. В зависимости от характера загрязнителей, их состава и свойств устранение вредного влияния достигается захоронением (в буквальном смысле слова) на длительное время в глубокие горизонты, разбавлением пластовыми водами, сорбцией или ионным обменом с породами.

Методы определения путей миграции промышленных стоков в подземных водах еще слабо разработаны. Поэтому важное значение приобретает правильный выбор зоны и поясов санитарно-защитной охраны.

## ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В. С., Никольская Е. А. Опыт захоронения сточных вод. М.: изд. ВИНТИ. Сер. гидрогеология. Инженерная геология. 1976, т. 4, с. 5—101.

Белицкий А. С. Охрана природных ресурсов при удалении промышленных жидких отходов в недра земли. М.: Недра, 1976. 145 с.

Белицкий А. С., Орлова Е. И. Охрана подземных вод от радиоактивных загрязнений. М.: Медицина, 1968. 208 с.

Бочевер Ф. М., Лапшин Н. Н., Орадовская А. Е. Защита подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1979. 254 с.

Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнений. М.: Недра, 1972. 129 с.

Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. О санитарной охране водозаборов подземных вод.— Разведка и охрана недр, 1977, № 5, с. 35—39.

Гаев А. Я. Подземное захоронение сточных вод на предприятиях газовой промышленности. Л.: Недра, 1981. 166 с.

Гидрогеологические исследования для захоронения промышленных сточных вод в глубокие водоносные горизонты/Под ред. К. Н. Антоненко, Е. Г. Чаповского. М.: Недра, 1976. 311 с.

Гольдберг В. М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах. М.: Недра, 1976. 153 с.

Кувин В. П. Подземные воды и охрана окружающей среды.— Природа, 1976, № 3, с. 70—76.

Маккавеев А. А., Тарасов Н. В., Антыпко Б. Е. и др. Подземное захоронение промстоков.— В кн.: Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии. М., 1968, с. 62—68.

Минкин Е. Л. Гидрогеологические расчеты для выделения зон санитарной охраны водозаборов подземных вод. М.: Недра, 1967. 124 с.

Минкин Е. Л. Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод. М.: Недра, 1972. 112 с.

Недрига В. П. Инженерная защита подземных вод от загрязнения промышленными стоками. М.: Стройиздат, 1976. 96 с.

Основы гидрогеологических расчетов/Бочевер Ф. М., Гармонов И. В., Лебедев Н. В., Шестаков В. М. М.: Недра, 1969. 367 с.

Пиннекер Е. В. Охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1979. 70 с.

Плотников Н. И. К вопросу захоронения вредных промышленных стоков в глубокие горизонты земной коры. В кн.: Вопросы формирования состава подземных вод. М.: Изд. Моск. ун-та, 1969, с. 164—191.

Проектирование водозаборов подземных вод/Под ред. Ф. М. Бочевера. М.: Стройиздат, 1976. 231 с.

Расновская М. А., Ковалева И. В. Загрязнение пресных подземных вод на водозаборах Волго-Камского артезианского бассейна.— В кн.: Вопросы изучения режима подземных вод и инженерно-геологических процессов. М., 1974, с. 24—28.

Роговская Н. В. Карта естественной защищенности подземных вод от загрязнения.— Природа, 1976, № 3, с. 57—61.

Фаворин Н. П. Искусственное пополнение подземных вод. М.: Наука, 1967. 199 с.

Яковлев С. В., Ласков Ю. М. Канализация. М.: Стройиздат, 1972. 279 с.

Handa V. K. Environmental pollution: occurrence of high nitrate ion concentrations in groundwaters from some parts of India. Congres de Montpellier, Memories, I. Comm. Paris, 1974, p. 80—85.

## 9. ИСТОЩЕНИЕ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ

Человек во всевозрастающих масштабах расходует подземные воды для водоснабжения и орошения, при осушении шахт и карьеров, водопонижительными установками их извлекают на поверхность при строительстве гидротехнических сооружений, тоннелей, метрополитена. В итоге происходит «обезвоживание» подземной гидросферы, прежде всего истощение ресурсов подземных вод.

### 9.1. ИСТОЩЕНИЕ РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК ФАКТОР ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Когда речь идет об истощении ресурсов подземных вод, то подразумевают извлечение их из земных недр в количествах, превышающих естественное или искусственное восполнение. Это проявляется в сработке напоров, снижении уровня и последующем осушении резервуара подземных вод.

Сработка напора и снижение уровня подземных вод обычно происходят за счет деятельности водозаборных сооружений. На многих водозаборах величина водопонижения предусматривается заранее и допускается до определенных пределов, установленных при оценке эксплуатационных запасов подземных вод, поэтому началом истощения считается уменьшение дебита и падение уровня подземных вод ниже этих пределов [Методическое руководство..., 1979]. Такой подход может быть и оправдан с инженерно-технических позиций, но существа вопроса он полностью не отражает.

Дело в том, что причиной истощения ресурсов подземных вод является не только чрезмерный водоотбор. Оно может происходить также при нарушении условий питания и восполнения резервуара подземных вод, скажем, после вырубki леса или отсутствия весенних паводков на реках, зарегулированных в результате сооружения водохранилищ.

Истощение ресурсов подземных вод приводит к прекращению излива скважин, осушению колодцев, исчезновению родников. Вместе с подземными водами истощаются и другие компоненты подземной гидросферы — почвенная влага, поровые растворы, нарушается водно-термический режим. Изменение гидрогеологических условий, в свою очередь, оказывает негативное воздействие на окружающую среду в целом.

Региональные оценки расходования подземных вод не характеризуют общую картину истощения их ресурсов, отражая ее только косвенно. Почти в два раза, как мы видели, занижена общая величина отбора подземных вод в СССР — 960 м<sup>3</sup>/с, по официальным данным расходуемых на цели водоснабжения (см. гл. 2). Точно так же не дает истинного представления об истощении цифра 50 м<sup>3</sup>/с [Биндеман и др., 1977], а по более полным данным — 180 м<sup>3</sup>/с, которой оценивается суммарный водоотбор из шахт, карьеров и вообще горных выработок Советского Союза. Однако цифры впечатляют другим: это огромные невозполнимые потери.

В 70-х годах в СССР количество извлекаемой из земных недр воды на водоснабжение и орошение не превышало 10% общих эксплуатационных ресурсов подземных вод [Оценка..., 1978]. Если учесть неравномерность существующего распределения ресурсов пресных подземных вод и резкое увеличение перспективной потребности в них на территориях, где эти ресурсы крайне ограничены, то рост средней величины водоотбора до 20—25% от общих эксплуатационных ресурсов вызовет или усилит в отдельных районах как локальное (вокруг водозаборных сооружений), так и региональное (на площади распространения депрессионной воронки от многочисленных водозаборов) истощение. Уже сейчас дефицит пресных под-

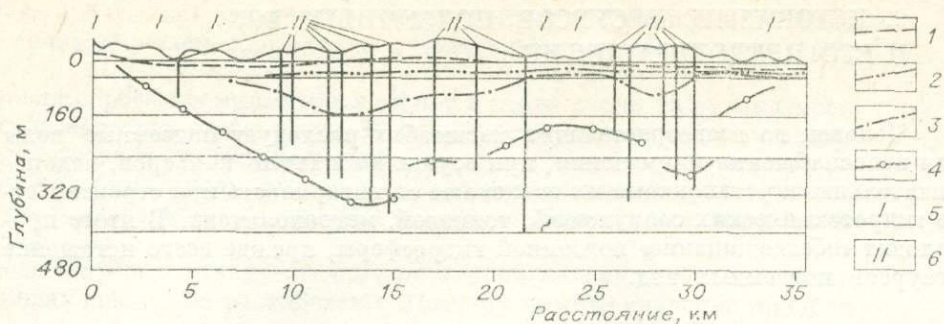


Рис. 9.1. Развитие воронки осушения в Северо-Уральском бокситовом районе [по З. П. Лебединской и др., 1974 г.].

Уровень подземных вод: 1 — до начала эксплуатации; 2 — на 1/1. 48 г.; 3 — на 1/1. 65 г.; 4 — на 1/1. 74 г.; 5 — реки; 6 — шахты.

земных вод ощущается в зоне неустойчивого увлажнения страны — в Молдавии (здесь используется значительная часть естественных ресурсов подземных вод), на юге Украины, Северном Кавказе, в Закавказье, Средней Азии, южных районах Казахстана.

Обширные воронки депрессии сформировались вокруг крупных городов и в горнопромышленных районах, нередко они имеют диаметр 50—100 км и глубину более 50 м. В окрестностях Москвы, где действует свыше 6000 водозаборных скважин с суммарным водоотбором почти 30 м<sup>3</sup>/с \*, величина снижения уровня подземных вод составляет 70—100 м [Устюжанин, 1978]. Сходная картина наблюдается в Киеве, Харькове, Курске, городах Урала. Воронки осушения образовались во многих странах не только вокруг крупных городов, использующих подземные воды для водоснабжения, но также у шахт и карьеров.

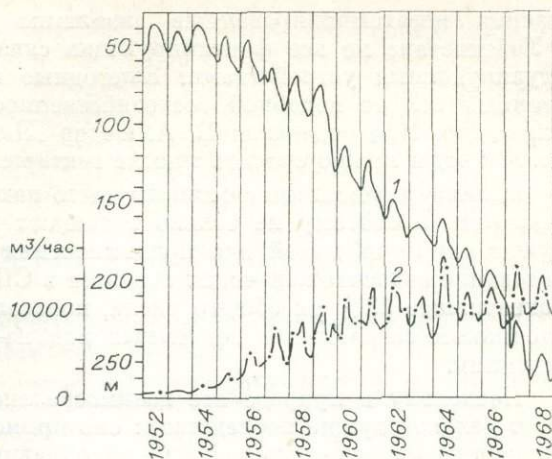
Самым значительным, кажется, следует считать отбор воды из бурого угольного карьера в районе г. Кёльна (ФРГ): водоприток здесь достигает 160 тыс. м<sup>3</sup>/ч (45 м<sup>3</sup>/с), а снижение уровня — 300—500 м. Это составляет 1/3 подземных вод, отбираемых всеми водозаборами ФРГ. В СССР большое количество воды откачивается в Донбассе, Северо-Уральском бокситовом районе (СУБР), Курской магнитной аномалии (КМА), Криворожье и т. д. 300 шахт Донбасса выдают ежедневно на-гора 20 000 м<sup>3</sup> воды. В СУБРе водоприток в 10 000 м<sup>3</sup>/ч локализован к гораздо меньшей площади и вызвал снижение уровня на глубину порядка 350 м (рис. 9.1). Еще больше водоприток на Миргалимсайском месторождении (рис. 9.2). На железорудных карьерах КМА и шахтах Криворожья, отличающихся повышенными водопритоками (0,5—4 м<sup>3</sup>/с на отдельных месторождениях), водоотбор превышает величину питания подземных резервуаров; тут полностью осушаются водоносные горизонты, перекрывающие рудную залежь [Гидрогеология СССР, 1973]. По данным Б. С. Устюжанина [1978], в пределах КМА депрессионные воронки, сформировавшиеся вокруг месторождений в девонской толще, взаимодействуют между собой и образуют дренированную территорию площадью около 100 тыс. км<sup>2</sup> (по изолинии нулевого снижения). Для сравнения отметим, что сходную площадь имеют такие европейские страны, как Венгрия и ГДР.

Вследствие хищнической эксплуатации истощение подземных вод в некоторых капиталистических странах носит угрожающий характер. Примечателен запад США, где водоотбор для орошения превысил в 140 раз естественное восполнение, и уровень водоносного горизонта систематически снижается. Разразившаяся в 1975—1978 гг. засуха усугубила про-

\* В городской черте Москвы извлекается подземных вод столько же, сколько составляет минимальный расход р. Москвы (5—6 м<sup>3</sup>/с).

Рис. 9.2. Режим водопритока и снижение уровня подземных вод на Миргалимсайском месторождении (по П. А. Серому и В. П. Горбаню).

1 — уровень подземных вод палеозойских карбонатных отложений вблизи рудника; 2 — водопритоки в рудник, м<sup>3</sup>/ч.



цесс истощения. Власти ввели жесткий контроль за использованием подземных вод, поскольку перестали фонтанировать сотни артезианских скважин. В Калифорнии уровень подземных вод падает на 1,5—1,8 м ежегодно. То же происходит в Аризоне, где водоснабжение и орошение целиком обязаны подземным водам: штат ожидает настоящая катастрофа, если не будут найдены другие источники воды. Стал истощаться подземный резервуар Огаллала, протянувшийся от штата Небраски до Техаса: за 30 лет уровень в нем упал более чем на 200 м. Так, на глазах одного поколения людей великолепные когда-то прерии превращаются в пустыню.

Катастрофический характер приобретает истощение подземных вод в ФРГ. Кроме упомянутого бурогоугольного карьера вблизи Кёльна, значительный отбор подземных вод осуществляется для хозяйственно-питьевого водоснабжения промышленных центров этой страны. Безудержный водоотбор нарушает экологическое равновесие и уничтожает природные ландшафты. Так, в середине 70-х годов высохли знаменитые Гессенские плавни, на площади которых интенсивно откачивались подземные воды в города Франкфурт-на-Майне, Дармштадт и Висбаден: эта «жемчужина германской флоры» превратилась в безводную степь, так как уровень подземных вод понизился на 8 м. В Баварии по этой причине высохла половина ручьев и прудов, 90% болот и родников прекратили существование. Судьба Гессенских плавней уготована району Гермш-Партенкирхена, откуда Мюнхен по трубопроводу должен получать 2,5 м<sup>3</sup>/с подземных вод.

Американские экологи, подготовившие в 1980 г. исследование «Окружающая среда в 2000 г.», отмечают, что истощение водных ресурсов стало угрожающим, а «судьба экономики, если не само выживание человека», будет зависеть от паличи воды. Нехватка воды усилится именно в тех странах, где ее недостаток сейчас ощущается наиболее остро, при этом полностью истощаются наиболее дефицитные водные ресурсы — подземные воды.

Истощению подвергаются не только пресные подземные воды. Отрицательное влияние разного рода инженерных мероприятий сказывается и на ресурсах подземных вод глубоких горизонтов. В районе Кавказа истощается запас минеральных вод Нарзан и Эссентуки. При строительстве самого протяженного на БАМе Северо-Муйского тоннеля были дренированы зоны тектонических разломов, выводящие термальные воды.

Большой урон подземным водам наносят скважины, оставшиеся после поисково-разведочных работ и бесцельно расходующие ресурсы подземных вод. Только на Украине в 1969 г. свыше 400 таких скважин извлекали из земных недр более 400 000 м<sup>3</sup>/сут воды [Охрана подземных вод СССР..., 1970]. В Восточной Сибири, Узбекистане и других районах Советского Союза десятки скважин фонтанируют рассолами, термальными или углекислыми водами. Такого рода фонтанирующие скважины — пример неправильного ведения геологоразведочных работ. Оставлять после

бурения незатампонированные скважины категорически запрещается. В Узбекистане не все фонтанирующие скважины оборудованы краново-регулирующими устройствами. Ежегодные потери пресных высококачественных вод от подобной бесхозяйственности составляли значительное количество. Как подсчитал Б. А. Бедер [Левин и др., 1975], этим количеством воды можно оросить многие гектары хлопчатника.

Неликвидированные скважины часто находятся в плохом техническом состоянии, а поэтому не только истощают водоносные горизонты, но и служат одним из путей для проникновения загрязняющих веществ. Обследование водоснабженческих скважин в США, проведенное в 60-х годах и охватившее 23% их общего числа, показало, что 20% скважин служат источником загрязнения подземных вод из-за их плохого технического состояния.

Поскольку в природе все взаимосвязано, истощение подземных вод имеет далеко идущие последствия: оно прямо или косвенно влияет на окружающую среду, часто наносит непоправимый вред состоянию подземной гидросферы и оказывает неблагоприятное воздействие на поверхностные воды. Извлечение воды из земных недр нарушает естественный водный баланс, а при количествах, превышающих величину питания, отрицательно сказывается на поверхностном стоке. Тем самым снижается водность рек, осушаются сельскохозяйственные угодья, гибнут леса, озера, малые реки. Чрезмерный водоотбор вызывает засоление водоносных горизонтов вследствие подтока морских или глубоких соленых вод: в создающиеся воронки депрессии иногда вовлекаются промышленные и коммунально-бытовые стоки. Кардинально меняются природные ландшафты и геохимическая обстановка. Наконец, снижение уровня подземных вод приводит к уплотнению рыхлых пород, провалам и опусканию территории. В томе «Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах» [1982] показано, как неумеренная эксплуатация подземных резервуаров, находящихся под городами Мехико, Венеция и Токио, вызвала оседание поверхности земли. Там же указывалось, что сброс откачиваемых подземных вод может быть одной из главных причин наблюдаемого повышения уровня Мирового океана.

Но беда еще в другом. Мы уже ссылались на западные штаты США, где прогрессирующее истощение подземных вод резко осложняет условия водоснабжения и орошения. Известно много подобных примеров, когда из-за неумеренной эксплуатации подземных вод выходили из строя водозаборные скважины и в срочном порядке изыскивались новые источники водоснабжения. Отмечаются такие случаи в СССР и других социалистических странах (ГДР, Польше, ЧССР). Истощение подземных вод в СССР пока не принимает угрожающих размеров, но народное хозяйство от «изъятия» эксплуатационных ресурсов и снижения уровней водоносных горизонтов терпит большие убытки.

Тревожная ситуация возникла 12—15 лет назад в г. Мелитополе. На расстоянии нескольких десятков километров от города находится Белозерское железорудное месторождение. В связи с его осушением образовалась огромная воронка депрессии, в которую постепенно попали основные водозаборные скважины [Гидрогеология СССР, 1973]. Город и окружающие его поселки стали ощущать нехватку воды. Для обеспечения водой населения г. Мелитополя и его окрестностей пришлось соорудить новый водозабор.

В Нью-Йорке из-за интенсивного водоотбора уровень подземных вод стал ниже уровня океана. Пришлось переносить водозаборы в ряде приморских районов США (Калифорния, Канзас, Джорджия и т. д.). Аналогичные случаи наблюдаются у нас в Крыму (Красноперекопск, Евпатория, Феодосия) и Прибалтике (Лиеная). Борьба с интрузией соленых вод предусматривает уменьшение водоотбора, искусственное питание или перехват внедряющихся морских вод (рис. 9.3).

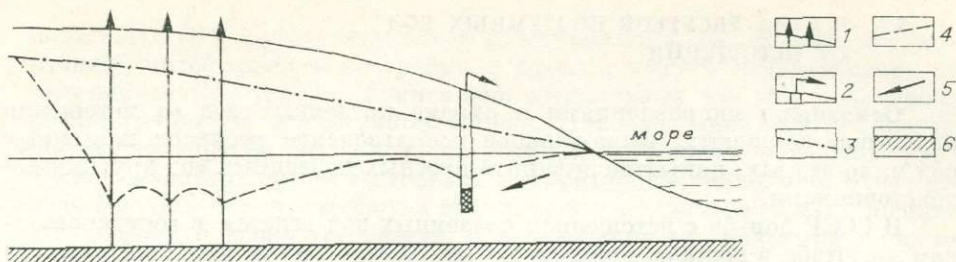


Рис. 9.3. Схема перехвата внедряющихся морских вод в депрессионную воронку водозаборных скважин.

1 — водозаборные скважины; 2 — ряд дренажных скважин, перехватывающих внедряющиеся морские воды; 3 — первоначальный уровень подземных вод; 4 — уровень подземных вод при водозаборе пресных вод и перехвате морских вод; 5 — внедрение морских вод; 6 — водоупор.

Возможны случаи, когда истощение подземных вод приносит не вред, а пользу народному хозяйству. Сошлемся хотя бы на мелиорацию почв и осушение переувлажненных земель, например Колхиды или Полесья, в результате чего стали плодородными ранее кишачие комарами болотные массивы. Чаще истощение подземных вод приводит к негативным последствиям. Достаточно вспомнить вырубку леса в бассейне Амазонки и последующее снижение уровня грунтовых вод. Таковым же следует считать отведение подземных вод после извлечения в реки и другие водоемы. За редким исключением, они имеют некондиционное качество (повышенную минерализацию и температуру, наличие токсичных элементов, нефтепродуктов или взвешенных веществ) и, несмотря на увеличение водности рек, вызывают химическое и тепловое загрязнение поверхностных вод. В Донбассе, например, за счет шахтных вод в реках минерализация возрастает более чем вдвое, содержание сульфатов — в три раза, взвешенных веществ — в 5—10 раз, а рН падает с 7,9 до 3,6 [Устюжанин, 1978].

Таким образом, истощение ресурсов подземных вод — фактор, который коренным образом преобразует окружающую среду. Прежде всего изменяется режим подземной гидросферы. В воронках депрессии исчезает почвенная влага, возрастает мощность зоны аэрации и резко сокращаются запасы связанной воды. А уменьшение влажности почв прямо влияет на условия произрастания растений. В краевых частях депрессионных воронок скорость перемещения подземных вод резко возрастает, поэтому усиливаются процессы растворения и выноса веществ, в частности карстообразование. Еще больше воздействие, как мы видели, на поверхностные воды. В итоге ухудшаются или гибнут природные ландшафты — леса и реки, появляются провалы, повышается уровень Мирового океана, исчезают сельскохозяйственные угодья.

Опасность, угрожающая окружающей среде в связи с истощением ресурсов подземных вод, требует учета допустимого в каждом случае ущерба. Его должны определить специалисты различного профиля с экологических и социально-экономических позиций. Задача гидрогеолога при этом [Инженерно-геологические аспекты..., 1981] заключается в определении объемов максимально возможного водоотбора, сочетающегося с минимальным ущербом окружающей среде. Как тут не вспомнить известное высказывание Ф. Энгельса [К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч., изд. 2-е, т. 20, с. 495—496]: «Не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые очень часто уничтожают значение первых». Эти слова будто специально сказаны об истощении ресурсов подземных вод как факторе воздействия на окружающую среду.

## 9.2. ОХРАНА РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ ИСТОЩЕНИЯ

Основными направлениями в охране подземных вод от истощения являются, во-первых, рациональное использование ресурсов подземных вод и, во-вторых, покрытие дефицита пресных подземных вод другими водоисточниками.

В СССР борьба с истощением подземных вод ведется в государственном масштабе в составе мероприятий по охране природных ресурсов. На учет взяты все прогнозные ресурсы и эксплуатационные запасы подземных вод. За их расходом ведутся систематические наблюдения. Если подземным водам грозит истощение, принимаются меры к ограничению водоотбора. С этой целью лимитируется использование подземных вод для технических нужд. В последние годы эффективно осуществляется ликвидация изливающихся воду скважин. Все эти мероприятия позволили существенно сократить истощение подземных вод. Немаловажное значение приобретают, кроме того, мероприятия, способствующие увеличению запасов пресных подземных вод.

Проблема рационального использования ресурсов подземных вод при более или менее крупном водоотборе решается прежде всего путем определения экономической целесообразности эксплуатации подземных вод в сравнении с использованием других, возможных в данном районе, источников водоснабжения. При этом, конечно, кроме экономических соображений, должны быть учтены задачи охраны подземных вод от истощения и законодательно закрепленное положение о том, что пресные подземные воды в первую очередь предназначаются для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения. Лишь в районах, где поверхностные воды отсутствуют, а запасы подземных вод превышают потребность в хозяйственно-питьевой воде, использование подземных вод для промышленности и сельского хозяйства может проводиться после представления специального обоснования и по разрешению органов, регулирующих использование и охрану вод.

Рациональному использованию ресурсов подземных вод в региональном масштабе должна способствовать разработка бассейновых и районных водохозяйственных балансов, которые будут служить основой для планирования размещения производительных сил, определения очередности строительства объектов с крупным водопотреблением, допустимых размеров водоотбора и т. п. Как и для поверхностных вод, рациональное использование подземных вод предполагает нормирование и сокращение водопотребления в промышленности, коммунальном и сельском хозяйстве, а также уменьшение потерь воды при ее использовании. В этом отношении следует еще много сделать, особенно в районах орошаемого земледелия, где потери оросительных вод достигают иногда 50—60%. Большую роль в экономии воды должно сыграть повторное использование отработанных и очищенных сточных вод в промышленности, теплоэнергетике, сельском хозяйстве.

Вторым направлением в охране подземных вод от истощения являются мероприятия, содействующие увеличению их запасов. Первым шагом в этом отношении могут быть меры по сохранению естественного уровня питания подземных вод, нарушенного каким-либо из техногенных воздействий.

По наблюдениям, выполненным в США [Tourbier, 1978], такое неблагоприятное влияние в районах с интенсивным развитием городов и промышленности связывается, в частности, с увеличением площади, занятой непроницаемыми бетонными и асфальтовыми покрытиями; это резко снижает инфильтрацию и увеличивает ливневый поверхностный сток, эрозию почв, обмеление рек. Для сохранения в области питания водоносного пласта естественного уровня инфильтрации была сопоставлена стоимость трех вариантов защитных мероприятий: 1) ограничение промышленного использования и застройки территорий, 2) использование вместо

подземных вод других источников водоснабжения, 3) сохранение существующей интенсивности застройки и промышленного использования территорий, но при условии применения специальных мер для поддержания инфильтрации на естественном уровне. Наиболее приемлемым оказался последний вариант, причем возможными техническими способами увеличения инфильтрации на застроенных территориях явились перехват дождевых вод на склонах мелкими траншеями и направление их в специальные инфильтрующие устройства; использование для покрытий пористого асфальта с дренажной подготовкой; создание мощения из решетчатых блоков и др.

Большое распространение получает в последнее время способ увеличения запасов подземных вод путем их искусственного восполнения за счет перевода части поверхностного стока в подземный, для чего применяются специальные сооружения — инфильтрационные бассейны, поглощающие скважины и т. п.

Благоприятное влияние на увеличение запасов пресных подземных вод оказывают также некоторые водохозяйственные мероприятия, устраиваемые в других целях. Так, при создании водохранилищ для регулирования речного стока, на прибрежных территориях увеличивается мощность горизонтов грунтовых вод и обводняются ранее сухие толщи; вдоль оросительных каналов создаются приканальные линзы пресных вод; появляются горизонты пресных вод на орошаемых территориях и т. п.

Одна из возможностей покрытия дефицита и уменьшения расходов пресных подземных вод для различных народнохозяйственных целей — использование подземных вод повышенной минерализации: соленоватых (1—10 г/л) и соленых (10—35 г/л). Слабосоленоватые подземные воды могут быть использованы в сельском хозяйстве для водопоя овец и крупного рогатого скота, для обводнения пастбищ, орошения некоторых культур. Соленоватые и соленые воды могут найти применение и в промышленности, и в ряде технологических процессов, где традиционно используются только пресные воды (см. гл. 2).

Перспективным направлением в охране подземных вод от истощения является управление совместным водоотбором подземных и поверхностных вод с учетом их взаимосвязи и взаимовлияния. Такой подход особенно важен в аридных и полуаридных зонах на территориях с развитым орошаемым земледелием. В этих условиях интенсивный отбор грунтовых вод может нанести ущерб поверхностному стоку, необходимому для орошения, а регулирование речных вод водохранилищами, разбор и отвод речных вод по бетонированным магистральным каналам и распределителям вызывают ухудшение или даже полное прекращение питания грунтовых вод на приречных участках.

Задачи оценки и рационального распределения общих водных ресурсов региона для водоотбора подземных вод при централизованном водоснабжении и для отбора воды из поверхностных водотоков при орошении в СССР особенно актуальны для республик Средней Азии.

В проектах совместного использования подземных и поверхностных вод может найти место и такое мероприятие, как магазинирование неиспользуемых в непольный период поверхностных вод в водоносном пласте и их откачка для орошения в вегетационный период. Для обоснования таких проектов используются моделирование фильтрации подземных вод при различных вариантах питания и водоотбора, а также численные модели [Lee e. a., 1980 и др.].

### 9.3. ИСКУССТВЕННОЕ ПОПОЛНЕНИЕ (МАГАЗИНИРОВАНИЕ) ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Искусственное пополнение, называемое также восполнением и магазинированием, подземных вод представляет собой целенаправленное применение инженерных мероприятий, благоприятствующих инфильтрации

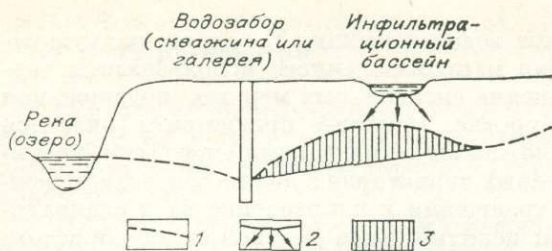


Рис. 9.4. Схема воспроизводства подземных вод открытыми инфильтрационными сооружениями. 1 — уровень подземных вод; 2 — искусственное питание; 3 — искусственные запасы подземных вод.

поверхностных вод в водоносные горизонты или подземные емкости для накопления и последующего использования. Перевод поверхностного стока в подземный осуществляется через естественные понижения рельефа (овраги, балки, староречья, высохшие озера, карьеры и т. п.) или через специальные сооружения для инфильтрации воды: открытые (бассейны, каналы и др.) и закрытые (скважины, колодцы и др.).

Искусственное пополнение запасов подземных вод (ИППВ) занимает важное место в комплексе мероприятий по воспроизводству наиболее дефицитных водных ресурсов (см. табл. 1.3). Таким способом формируются искусственные запасы подземных вод (рис. 9.4).

При искусственной инфильтрации ускоряется воспроизводство подземных вод. Говоря другими словами, вода быстрее и легче попадает в предназначенный ей подземный резервуар. В практике решения этой проблемы могут встретиться две задачи [Плотников, 1976]: 1) воспроизводство эксплуатационных запасов пресных подземных вод непосредственно на действующих водозаборных сооружениях с целью увеличения водоотбора, улучшения их качества или условий эксплуатации и 2) накопление (складирование) поверхностного стока в природных емкостях, т. е. создание искусственных запасов подземных вод по аналогии с искусственными хранилищами нефти и газа. М. А. Хордикайнен [1974] считает главным по актуальности мероприятием восполнение подземных вод на действующих или проектируемых водозаборах, решение второй задачи, по его мнению, дело будущего.

Воспроизводство ресурсов подземных вод применяется давно. Еще древние цивилизации Северной Африки, Ближнего Востока и Средней Азии отводили атмосферные осадки и поверхностные воды в недра. Аналогичные сооружения и сейчас функционируют на такырах в Туркмении. В начале XIX в. на берегу р. Клайд (Шотландия) был сооружен первый водозабор с искусственным питанием.

Искусственное пополнение запасов подземных вод имеет ряд преимуществ. Помимо основного назначения этот метод приводит к очищению наземных вод в процессе инфильтрации, способствует защите пресных подземных вод от проникновения морских вод или промышленных стоков, интенсифицирует работу действующих водозаборов без коренного их переустройства, поддерживает постоянную температуру вод, используемых для технологических целей и т. д.

Применяемое на локальных участках ИППВ позволяет:

1) увеличить производительность действующих водозаборов подземных вод или запасы водоносного горизонта на участке, намечаемом к эксплуатации;

2) взамен дорогостоящей специальной очистки поверхностных вод, используемых для водоснабжения, улучшать их качество путем фильтрации в породах зоны аэрации и водоносного пласта;

3) корректировать состав подземных вод, используемых для водоснабжения, за счет их смешения в пласте с поверхностными водами, имеющими лучшие показатели по отдельным компонентам (например, по жесткости, содержанию железа, фтора и др.);

4) получать для водоснабжения предприятий воду с относительно низкой, стабильной в течение года температурой;

5) создавать компактные высокопроизводительные водозаборы подземных вод, что обуславливает экономию площади отчуждаемых земель и уменьшение затрат на коммуникации.

При региональных масштабах применения метод ИППВ позволяет решать задачи управления водными ресурсами территории, комплексного использования поверхностных и подземных вод и их взаимного регулирования в разнообразных народнохозяйственных и экологических целях. Так, задержание, сохранение и накопление в подземных емкостях неравномерного во времени поверхностного стока позволяет затем использовать накопленную воду применительно к режиму водопотребления — для водоснабжения (и ирригации) в засушливые периоды года или при промерзании рек, для поддержания необходимого расхода водотоков, борьбы с водной эрозией почв, заилением рек, оврагообразованием и т. д.

Перераспределение и регулирование водных ресурсов с помощью метода искусственного пополнения запасов подземных вод широко применяется, например, в Калифорнии (США), где 2/3 атмосферных осадков выпадают к северу от широты Сакраменто, в то время как основные потребители воды для хозяйственного, промышленного водоснабжения и для ирригации размещаются к югу от указанной широты; неблагоприятно также время выпадения осадков в течение года. Поэтому поверхностные воды магасинируются в Северной Калифорнии в водоносных пластах, сложенных крупными песками и гравием, а использование накопленных подземных вод проводится в южных районах Калифорнии. Для увеличения питания подземных вод созданы специальные установки по пополнению их запасов в виде поглощающих бассейнов, построены каналы и трубопроводы значительной протяженности, допускающие сезонную переброску воды из удаленных речных бассейнов для подземного аккумуляирования.

Перехват временного поверхностного стока и мероприятия по увеличению инфильтрации в грунтовые воды проводятся также в других штатах Америки (Аризона, Техас, Колорадо, Нью-Мексико), в Англии (бассейн рек Темза, Ли, Уз). На о. Кипр для сбора поверхностного стока в водохранилищах и перевода его в подземный сток построено 150 вододерживающих плотин. Накопление (магасинирование) поверхностного стока в подземных емкостях имеет преимущества перед созданием поверхностных водохранилищ из-за уменьшения потерь воды на испарение и фильтрацию, сохранения земельных угодий, улучшения качества воды.

Метод ИППВ находит также применение для защиты водоносных горизонтов, содержащих пресные воды, от внедрения морских соленых вод или загрязненных подземных вод.

Искусственное пополнение водоносного пласта для защиты от вторжения соленых морских вод проводится, например, в Австралии [Jones e. a., 1976]. Из водоносного горизонта, распространенного на 500 км вдоль дельты р. Бурдекин, ежегодно отбирается свыше  $300 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> подземных вод главным образом для орошения.

На одном из участков уровень подземных вод опустился на 5 м ниже уровня моря; для предотвращения вторжения соленых морских вод в водоносный горизонт начато искусственное пополнение подземных вод. Вода, отбираемая из реки, направляется в систему естественных и искусственных каналов, фильтрация из которых обеспечивает пополнение водоносного пласта; использование для этой цели буровых скважин затруднено необходимостью дорогостоящей очистки речной воды от взвесей.

Основными источниками искусственного пополнения запасов подземных вод служат речные или озерные воды; в районах с ограниченными ресурсами поверхностных вод используются ливневые и паводковые воды (в Техасе, Калифорнии, Аризоне и других южных штатах США, в Австралии, Англии и других странах). В качестве источника пополнения могут быть использованы также подземные воды другого водоносного горизонта, например, незагрязненные дренажные и шахтные воды.

Дефицит пресных поверхностных вод вынуждает применять для искусственного пополнения воду, уже использованную для различных целей, например, отходы с установок кондиционирования воздуха, из систем охлаждения технологического оборудования. Возврат в водоносный

пласт подземных вод, использованных для охлаждения оборудования, предусмотрен законодательством ряда стран (Исландия, 1941; Англия, 1945; США, 1953).

Закачка возвратных вод осуществляется с 1933 г. на о. Лонг-Айленд (в г. Нью-Йорке), где действуют более 1500 нагнетательных скважин, а также в городах Майами (Флорида), Финикс (Аризона), Фреско (Калифорния) и др.

В последние годы за рубежом широко обсуждается и исследуется проблема использования для ИППВ некоторых видов сточных вод после их предварительной подготовки или очистки. Если сточные воды не имеют химических и бактериальных загрязнений и содержат только взвешенные нетоксичные вещества минерального происхождения, которые легко удаляются путем отстаивания и коагуляции, вопрос об их применении решается сравнительно просто, однако объем сточных вод такого состава ограничен. Основная дискуссия завязалась вокруг оценки возможности использования для ИППВ хозяйственно-бытовых очищенных сточных вод, что встречает возражения в связи с гигиеническими аспектами этой проблемы. Опытные установки ИППВ такого рода уже имеются в Калифорнии (США) и других местах.

В Англии, Германии и России (рис. 9.5) метод искусственного восполнения запасов подземных вод используется с XIX в. В настоящее время в ГДР, ФРГ, Швеции, Нидерландах, Франции и в СССР искусственное пополнение подземных вод используется в основном для увеличения производительности водозаборов подземных вод, а также как способ улучшения качества поверхностных вод, более дешевый, чем обычные способы их очистки, применяемые при устройстве открытых водозаборов из рек.

В СССР около 30 действующих установок и опытно-производственных систем, на которых отрабатывается технология ИППВ. Опыт искусствен-

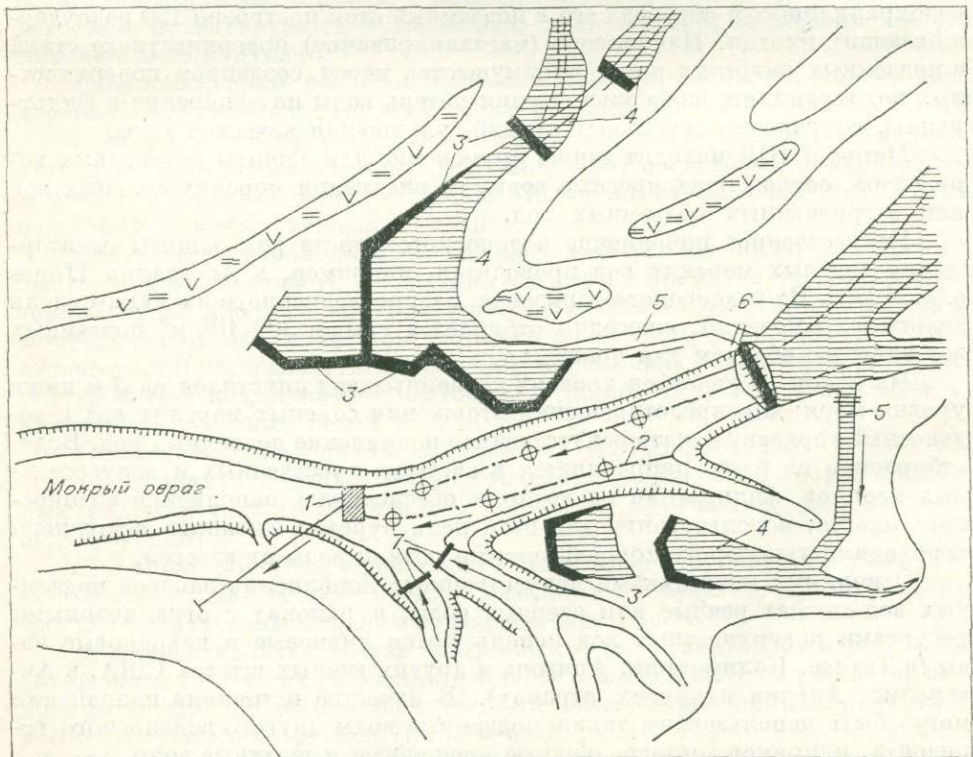
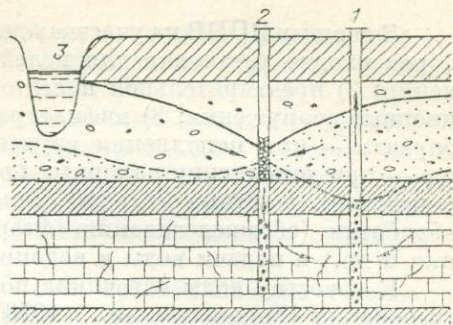


Рис. 9.5. Водозабор с искусственным пополнением подземных вод в г. Арзамасе [по Ф. И. Владимирскому, 1913 г.].

1 — водосборный колодец; 2 — каптажные устройства; 3 — ограждающие дамбы; 4 — инфильтрационные бассейны; 5 — водоотводящие каналы; 6 — пруд; 7 — подземные запруды (забойки).

Рис. 9.6. Схема искусственного пополнения нижнего (эксплуатируемого) напорного водоносного горизонта за счет верхнего, в который происходит фильтрация из реки или из открытого инфильтрационного сооружения.

1 — водозаборная и 2 — дренажно-поглощающая скважины; 3 — река или открытые инфильтрационные сооружения.



ного восполнения подземных вод у нас в стране пока невелик, так как в нем раньше не было острой потребности. Этот вопрос удачно решен в Прибалтике (Рига, Вильнюс, Клайпеда, Каунас), на Украине (Черновцы, Севастополь, Ивано-Франковск), Кавказе (Пятигорск), Урале (Троицк, Асбест) и в Сибири (Красноярск, Канск, Новокузнецк).

Принципиальные схемы таких устройств (рис. 9.4 и 9.6) сочетают естественное питание водозаборных скважин или галерей рекой с искусственным восполнением из различных инфильтрационных резервуаров. Производительность водозаборов Эйгулай в г. Каунасе и Балтэзерс в г. Риге (рис. 9.7) благодаря искусственному восполнению удалось увеличить почти вдвое. После сооружения трех инфильтрационных бассейнов выросла в три раза подача воды для г. Новокузнецка из Абашевского водозабора, где эксплуатация производится в условиях продолжительной зимы с температурами ниже  $-40^{\circ}$ .

Большие искусственные ресурсы подземных вод созданы в ранее безводных природных емкостях по берегам днепровских, волжских, ангарских, обских и других водохранилищ. Эти резервуары подземных вод в некоторых городах (например, Иркутске, где они возникли в песчано-галечных отложениях) являются надежным источником водоснабжения, гарантированным от истощения. В полосе влияния Новосибирского водохранилища площадь новых водоносных горизонтов в аллювии высоких террас составляет  $550 \text{ км}^2$ . Еще больше она по периметру акватории Братского водохранилища. Здесь подъем уровня достиг  $50-100 \text{ м}$  и подпором охвачены как рыхлые отложения аллювия, так и коренные породы — песчаники, доломиты, мергели. Наиболее значительные искусственные ресурсы подземных вод сформировались на верхнем участке этого водохранилища в закарстованных доломитах. Тут подпор сказывается более чем на  $20-25 \text{ км}$  в глубь склона.

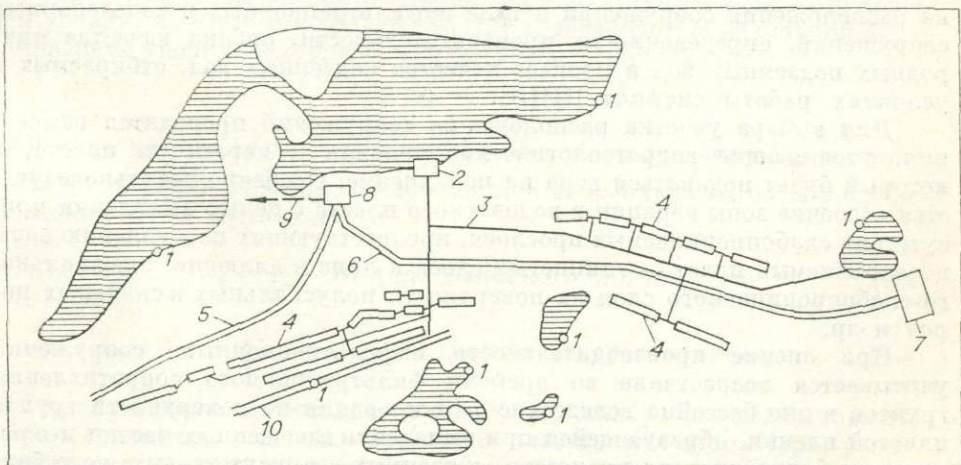


Рис. 9.7. Схематический план компоновки сооружений водозабора «Балтэзерс».

1 — озера; 2 — насосная станция первого подъема; 3 — распределительные водоводы; 4 — бассейны; 5 — малый и 6 — большой сифоны; 7 — воздушная станция; 8 — насосная станция второго подъема; 9 — напорный водовод; 10 — водозабор «Балтэзерс-2».

В систему ИППВ на участках действующих или проектируемых водозаборов входят установки для целей: 1) забора воды из источника пополнения; 2) предварительной подготовки воды и подачи ее на инфильтрационные сооружения; 3) инфильтрации воды (бассейны, каналы, канавы, борозды — при пополнении грунтовых вод; скважины, шахтные колодцы — при пополнении напорных подземных вод); 4) отбора подземных вод (скважины, шахтные колодцы, галереи и др.); 5) сбора, дополнительной обработки (обезжелезивания, фторирования, умягчения, обеззараживания и др.) и подачи воды в водопроводную сеть.

К качеству воды источника пополнения предъявляются специальные требования [Рекомендации..., 1976]. Так, мутность воды должна быть не более 20 мг/л, содержание железа — не более 3 мг/л, содержание планктона — не более 10 тыс. клеток в 1 мл. Ограничивается также количество бактериальных загрязнений: коли-индекс — до 100 тыс. ед. в 1 л, общее число бактерий при эффективном диаметре  $d_{эф}$  частиц грунта в дне инфильтрационного сооружения, равном 0,5—1 мм, — не более 1 тыс. ед. в 1 мл., при  $d_{эф} = 0,15-0,3$  — не более 5 тыс. ед. в 1 мл. Содержание в воде других компонентов, регламентируемых ГОСТом 2874 — 73, контролируется из условий возможности изменения их количества при смешении с подземными водами.

При неудовлетворительном качестве воды для предварительной ее подготовки устраиваются очистные сооружения, на которых может быть проведена аэрация, коагулирование, отстаивание, микрофильтрация, фильтрование, известкование, хлорирование и другие виды обработки.

Инфильтрационные сооружения могут работать как при постоянной подаче воды из источника пополнения, так и при периодической. Подачу воды прекращают, например, в паводок (из-за повышения мутности речной воды), в периоды сокращения стока в источнике пополнения (в аридных зонах — в летний период, на севере — зимой, при промерзании рек), при случайном загрязнении воды промышленными стоками.

Магасинирование подземных вод — эффективный способ борьбы с их истощением на водозаборах и в природных емкостях. Необходимым его условием является наличие источника питания — поверхностных вод. Поэтому, как считает Н. И. Плотников [1976], все мероприятия по искусственному воспроизводству подземных вод сокращают поверхностный сток. Это обязательно следует иметь в виду при планировании комплексного использования водных ресурсов.

При наличии источника пополнения основными задачами гидрогеологических изысканий для создания систем ИППВ являются выбор участка расположения сооружений и типа инфильтрационных и водозаборных сооружений, определение их производительности, оценка качества природных подземных вод и прогноз качества подземных вод, отбираемых в условиях работы системы ИППВ.

Для выбора участка расположения сооружений проводятся изыскания, уточняющие гидрогеологические условия и параметры пласта, в который будет подаваться вода на пополнение. Особенно детально изучается строение зоны аэрации и водоносного пласта с целью выявления присутствия слабопроницаемых прослоек, препятствующих поступлению воды в пополняемый пласт — глинистых слоев и линз в аллювии, элювиально-го слабопроницаемого слоя на поверхности полускальных и скальных пород и др.

При оценке производительности инфильтрационных сооружений учитывается возрастание во времени фильтрационного сопротивления грунтов в дне бассейна вследствие формирования на поверхности грунта илстой пленки, образующейся при выпадении взвешенных частиц и в результате биологических процессов, связанных с присутствием в воде бактерий и фитопланктона; влияет также проникновение взвешенных частиц в поры грунта — собственно кольматация. В связи с этим в течение фильтрационного цикла, т. е. периода работы инфильтрационного бассейна между двумя чистками, скорость инфильтрации всегда уменьшается, а наполнение и

эксплуатация бассейнов обычно проходят по сложному графику изменения во времени глубины воды в бассейне  $H(t)$  и фильтрационного расхода из бассейна  $Q(t)$ .

Для оценки изменения фильтрационного сопротивления грунтов в дне инфильтрационных сооружений необходимы данные о составе воды, идущей на пополнение (мутность, содержание микроорганизмов и т. д.), о коэффициенте фильтрации грунтов в дне инфильтрационных сооружений, конструктивных особенностях и режиме эксплуатации инфильтрационных бассейнов.

Эти параметры в зависимости от стадии проектирования установки ИППВ определяются вначале приблизительно — по результатам эксплуатации инфильтрационных сооружений в аналогичных условиях, а затем — по результатам специальных полевых и лабораторных опытных работ.

При создании системы ИППВ на участках расположения водозаборов эффективность этого мероприятия в гидродинамическом отношении оценивается путем сопоставления количества воды, идущей на пополнение, с увеличением производительности водозаборов. В этих целях предложены два параметра [Рекомендации..., 1976].

1) коэффициент полезного действия собственно инфильтрационных сооружений, определяемый соотношением

$$\eta = Q_{б.в} / Q_б, \quad (9.1)$$

где  $Q_б$  — общий средний расход воды, подаваемой из источника пополнения на инфильтрационные сооружения,  $Q_{б.в}$  — расход подземных вод, дополнительно привлекаемых водозабором при искусственном пополнении;

2) коэффициент эффективности системы искусственного пополнения в целом; он равен отношению

$$\xi = Q_{б.в} / Q_в, \quad (9.2)$$

где  $Q_в$  — общий расход подземных вод, отбираемых водозаборными сооружениями при искусственном пополнении.

При расчетах производительности систем ИППВ необходимо учитывать гидродинамическое взаимодействие водозаборных и инфильтрационных сооружений; при постоянном расходе водозаборов подземных вод учет взаимодействия выполняется на основе метода суперпозиции. В этом случае общее понижение уровня подземных вод  $S$  в любой точке водоносного горизонта определяется разностью между величиной  $S_в$  — понижением уровня, вызываемым только работой водозаборов, и величиной  $h_в$  — повышением уровня вследствие искусственного пополнения:

$$S = S_в - h_в. \quad (9.3)$$

Понижение уровня воды  $S_в$  зависит от расхода водозабора  $Q_в$ , коэффициента фильтрации  $k$ , мощности пласта  $m$  и гидравлического сопротивления пласта  $R_в$  и составляет:

$$S_в = \frac{Q_в}{4\pi km} R_в \quad (\text{для напорного потока}), \quad (9.4)$$

$$S_в = h_с - \sqrt{h_с^2 - \frac{Q_в}{2\pi k} R_в} \quad (\text{для безнапорного потока}). \quad (9.5)$$

Гидравлическое сопротивление пласта  $R_в$  при работе водозабора зависит от граничных условий, параметров пласта, типа водозабора, расположения скважин, характера фильтрации и других факторов.

При определении понижения уровня непосредственно в эксплуатационной скважине учитывается, кроме того, дополнительное гидравлическое сопротивление, возникающее вследствие фильтрационного несовершенства скважин по степени и характеру вскрытия пласта.

Аналитические выражения функции  $R_b$  приведены в работах по динамике подземных вод и оценке эксплуатационных запасов подземных вод [Боचेвер, 1968 и др.].

При расчете повышения уровня подземных вод  $h_b$  следует учитывать цикличность изменения фильтрационного расхода из инфильтрационных сооружений, обуславливающую соответствующие периодические колебания уровня подземных вод. Изменяющийся во времени инфильтрационный расход  $Q_b(t)$  из бассейна, канала и других сооружений по пополнению запасов подземных вод можно представить как сумму постоянного во времени среднего расхода  $Q_b$  и некоторого переменного расхода  $\tilde{Q}_b(t^*)$

$$Q_b(t) = Q_b + \tilde{Q}_b(t^*), \quad (9.6)$$

где  $t$  — время от начала эксплуатации инфильтрационного сооружения,  $t^*$  — время от начала фильтрационного цикла. Величина  $Q_b$  определяется по общему объему воды  $W$ , инфильтрующейся из сооружений за один рабочий цикл длительностью  $T$ :

$$Q_b = W/T. \quad (9.7)$$

Аналогично (9.6) подъем уровня вследствие инфильтрации может быть представлен в виде

$$h_b(t) = h + \tilde{h}(t^*), \quad (9.8)$$

где  $h$  — среднее повышение уровня подземных вод, относительно которого происходят дополнительные колебания уровня  $\tilde{h}$ , приобретающие со временем квазиустановившийся характер. Величина  $h$  зависит от среднего расхода инфильтрации  $Q_b$ , коэффициента фильтрации  $k$ , мощности пласта  $m$ , гидравлического сопротивления  $R_b$  и составляет:

$$h = \frac{Q_b}{4\pi km} R_b \quad (\text{для напорного потока}), \quad (9.9)$$

$$h = \sqrt{\frac{Q_b}{2\pi k} R_b - h_c^2} - h_e \quad (\text{для безнапорного потока}). \quad (9.10)$$

Для случая инфильтрации со средним постоянным расходом  $Q_b$  имеются аналитические выражения гидравлического сопротивления  $R_b$  (в любой точке пласта) и  $R_{b_0}$  (под центром инфильтрационного сооружения) для инфильтрационных каналов, круговых и прямоугольных площадок, полосообразных бассейнов. В случае резкой неравномерности инфильтрационного питания целесообразно определить и величину  $\tilde{h}$ , которая максимальна под инфильтрационным сооружением и уменьшается с удалением от него. В точках, удаленных от инфильтрационного сооружения на расстояние  $r > (1 \div 2)\sqrt{aT}$ , колебания уровня  $\tilde{h}$  незначительны и могут не учитываться; здесь  $a$  — коэффициент пьезопроводности пласта,  $T$  — продолжительность фильтрационного цикла. Методика расчета  $R_b$ ,  $R_{b_0}$ ,  $h$ ,  $\tilde{h}$  приведена в работе «Рекомендации по проектированию...» [1976].

Качество воды, отбираемой из водозаборов на участках с искусственным восполнением, зависит от качества воды в источнике пополнения и в водоносном горизонте. В некоторых случаях, например при обводнении сухих пород или при малом расходе естественного потока подземных вод, отбираемая вода состоит преимущественно из воды источника пополнения, состав и свойства которой могут трансформироваться в процессе предварительной подготовки, отстаивания и фильтрации из открытых инфильтрационных сооружений. За время пребывания в инфильтрационном бассейне и особенно после вертикальной фильтрации через зону аэрации и горизонтального движения по пласту к водозабору качество воды источника пополнения претерпевает значительные изменения. Непосредственно в бассейне происходит выпадение взвешенных веществ, частичное от-

мирение бактерий, насыщение воды кислородом и уменьшение содержания свободной углекислоты. На вертикальном участке фильтрации задерживаются все взвешенные вещества и основные количества бактериальных загрязнений, фитопланктона, эмульгированных нефтепродуктов. На горизонтальном участке фильтрации дополнительному улучшению качества поступившей воды способствуют смешение с подземными водами, также отмирание бактерий, сорбция, ионный обмен и др. Интенсивность этих процессов зависит от длины пути и скорости фильтрации, состава и свойств водоносного пласта.

Количественное соотношение подземных и поверхностных вод, участвующих в формировании отбираемой водозаборной воды, определяется на основе гидрогеологических расчетов. Для прогноза и регулирования качества отбираемой воды должны быть в полной мере изучены состав и свойства воды как в источнике пополнения, так и в водоносном горизонте. Прогноз качества воды в системах ИППВ включает расчет смешения вод и прогноз физико-химических процессов их трансформации. Количественное описание этих процессов производится на основе теории массопереноса с учетом кинетики и других особенностей того или иного рассматриваемого процесса.

Гидродинамическая дисперсия, сорбция и неполная десорбция в ряде случаев способствуют проявлению барьерной роли грунтов на участке ИППВ в отношении микрозагрязнений, кратковременно появляющихся в источнике пополнения [Орадовская и др., 1977].

При неудовлетворительных бактериальных показателях качества отбираемой воды перед подачей в водопроводную сеть она обеззараживается; иногда проводится дополнительная обработка для удаления железа и марганца, а в особых случаях загрязненная вода пропускается через колонки с активным углем.

Из изложенного выше видно, что возможность и экономическая целесообразность применения искусственного пополнения подземных вод зависит от потребности в пополнении, наличия и показателей источника пополнения (количество и качество воды), объема подземных емкостей для аккумуляции поверхностного стока, а также от условий строительства и эксплуатации сооружений системы ИППВ.

С учетом этих показателей ВСЕГИНГЕО проведено гидрогеологическое районирование территории СССР относительно перспективности применения ИППВ. Осуществление ИППВ целесообразно в первую очередь в областях, где развитие производительных сил сдерживается недостатком воды; к ним относятся вся аридная зона СССР, южная часть европейской территории СССР и отдельные районы интенсивной эксплуатации подземных вод в связи с высокой концентрацией населения и промышленности. Необходимость ИППВ установлена для 150 водозаборов подземных вод в разных районах. В дальнейшем ИППВ может найти применение на большей части европейской территории страны, а также в горных районах на участках развития конусов выноса, межгорных впадин и предгорных шлейфов (Забайкалье, многие районы Кавказа, Прикарпатья, Приуралья и др.).

## ЛИТЕРАТУРА

Биндеман Н. Н., Ковалевский В. С., Язвин Л. С. Основные научные и практические аспекты проблемы рационального использования подземных вод.— Водные ресурсы, 1977, № 6, с. 48—58.

Бочевер Ф. М. Теория и практические методы гидрогеологических расчетов эксплуатационных запасов подземных вод. М.: Недра, 1968. 328 с.

Гидрогеология СССР. Сводный том. Вып. 4/Под ред. И. В. Гармонова. М.: Недра, 1973. 278 с.

Инженерно-геологические аспекты рационального использования и охраны геологической среды. М.: Наука, 1981. 240 с.

Левин В. С., Толоконников В. С., Бедер Б. А. Охрана водных ресурсов Узбекистана, 1975. 46 с.

Методическое руководство по охране подземных вод от загрязнения. М.: Изд-во СЭВ, 1979. 63 с.

Орадовская А. Е., Перлина А. М., Гольдин М. И. Некоторые вопросы оценки защитного действия систем искусственного пополнения подземных вод.— Труды ВОДГЕО, вып. 63, М., 1977, с. 77—84.

Охрана подземных вод УССР от загрязнения и истощения. Вып. 4. Киев: Наукова думка, 1970. 108 с.

Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности. М.: Недра, 1978. 264 с.

Плотников Н. И. Подземные воды — наше богатство. М.: Недра, 1976. 208 с.

Рекомендации по проектированию и эксплуатации систем искусственного пополнения запасов подземных вод (ИППВ). М.: изд. ВОДГЕО, 1976, с.

Устюжанин Б. С. Влияние отбора подземных вод на окружающую среду.— Разведка и охрана недр, 1978, № 11, с. 33—37.

Хордикийнен М. А. Об искусственном восполнении запасов подземных вод.— Водные ресурсы, 1974, № 2, с. 170—179.

Jones N. O., Volker R. E., James S. E. et al. Artificial recharge of groundwater in Burdekin Delta, Australia.— Summary, «Circum-Pacific Energy and Mineral Resources. Pap. Conf. Honolulu, Haw., 1974», Tulsa, Okla, 1976, 354 p.

Lee C. Y., Qazi A. R., Danielson J. A. A digital model applied to ground water recharge and management.— Water. Resours. Bull., 1980, v. 16, N 3, p. 514—521.

Tourbier J. Groundwater protection in the Christiana Basin.—Water and sewage works, 1978, 125, N 1, p. 68—71.

---

## 10. ОСОБЕННОСТИ ОХРАНЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Охрана подземных вод в экстремальных климатических условиях аридной и ледовой зон имеет специфические особенности. Вероятно, они нуждаются в особом рассмотрении. Ограничимся кратким обзором для областей сухого климата и более обстоятельным для криолитозоны, где борьба с загрязнением и истощением подземных вод имеет известные сложности и трудности.

### 10.1. ОБ ОХРАНЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АРИДНОЙ ЗОНЫ

«В пустыне вода дороже алмаза»,— гласит туркменская пословица. Используются же там главным образом подземная вода, отчасти сток транзитных рек и дождевая влага. Поэтому в глубокой древности жители областей сухого климата научились беречь каждую каплю воды.

Вместе с тем на подземных водах здесь начинает сказываться хозяйственная деятельность человека. Наибольшим злом является орошение, коренным образом преобразующее водно-солевой режим всей зоны аэрации и верхних водоносных горизонтов. Направленность изменений В. Н. Островский [1981], специально изучавший этот вопрос, сводит с следующим.

1. В пределах платформенных бассейнов при орошении длительное время сохраняются гидрогеологические условия, близкие к естественным однако вследствие низкой интенсивности водообмена имеет место: а) на начальной стадии — значительный подъем уровня грунтовых вод, формирование искусственных емкостей и опреснение подземных вод, превращение областей разгрузки в области питания; б) на последующей стадии — активизация процессов соленакопления.

2. Для предгорных бассейнов влияние орошения в региональном плане, пожалуй, значительнее, однако оно существенно контролируется высокой динамичностью подземного стока, препятствующей соленакоплению. Тем не менее и здесь происходит смена естественных ландшафтов культурными, обусловленная нарушением водно-солевого режима.

3. Интенсивность воздействия орошения на подземные воды заметно возрастает из-за нерационального использования водных ресурсов, в частности при сбросах воды на неорошаемые площади и образовании искусственных водоемов, превращающихся затем в солончаки и солонцы.

4. Важно умело регулировать направленность процессов водо-солеобмена, поскольку в полосе влияния оросительных систем интенсивность подземного химического стока увеличивается в 10—15 раз, а поступление в реки большого количества солей с дренажными, сбросными и подземными водами существенно увеличивает поверхностный химический сток.

К сказанному следует добавить, что антропогенное воздействие проявляется также в резком сокращении стока рек-ирригаторов, многие из которых в нижнем течении перестают функционировать. В. Н. Островский на примере бассейна Аральского моря приходит к выводу, что здесь антропогенная деятельность выступает как мощный геологический фактор, суммарно сопоставимый по масштабу воздействия на подземную гидросферу с естественными факторами. Скорее всего деятельность человека превосходит их, так как за непродолжительное время она привела к усыханию Аральского моря.

В аридной зоне мы имеем дело с более или менее единой геохимической обстановкой. На территории Средней Азии едины по своему первичному генезису породы в горах и на равнине. Поступление «чужой» воды сибирских рек, несомненно, нарушит сложившееся равновесие, в частности произойдет разрушение гипсовых и карбонатных кор выветривания с вовлечением в активный круговорот огромных масс солей, ранее геохимически пассивных [Островский, 1981].

В зарубежных странах с развитой ирригацией эксплуатация оросительных систем без должного гидрогеологического обоснования часто вызывает засоление обширных площадей: в Пакистане — 11 млн. га, Индии — 6 млн. га и т. д. Для устранения подобных нежелательных последствий прибегают к интенсивному отбору подземных вод, что и приводит к восстановлению нормального водно-солевого режима.

В аридной зоне подземные воды верхних горизонтов обычно отличаются пестрой минерализацией. Линзы пресных вод окружены солеными водами. Поэтому при эксплуатации колодцев и скважин стараются по возможности избежать искусственного засоления.

Борьба с засолением пресных подземных вод пустынь может быть проиллюстрирована на примере эксплуатации крупнейшего подземного резервуара в Западной Туркмении — Ясханской пресноводной линзы (рис. 10.1). Последняя имеет двухслойное строение: пресная вода подстилается соленой. Водоотбор производится кустами скважин, при этом каждый куст состоит из трех скважин: первая глубиной 85 м откачивает пресную воду, вторая глубиной 110 м — соленую, чтобы предохранить первую скважину от подтока соленой воды снизу, и третья — глубиной 115 м — является наблюдательной. 52 куста таких скважин обеспечивают подачу в трубопровод около 30 тыс. м<sup>3</sup>/сут пресной воды [Каграманов, 1978].

Многовековой опыт добычи подземных вод в пустынях и засушливых районах вызвал к жизни сооружение не только колодцев, но и соединяющих их водосборных галерей, называемых по-разному в разных местах: кяризами (в Средней Азии и на Кавказе), канатами (в Иране), фоггара (в Африке). Такие галереи имеют оптимальный водозабор, поскольку обеспечивают емкий дренаж водоносного горизонта и его питание в предгорных равнинах. Как отмечает М. В. Колодин [1981], в Иране за 25 веков было построено 40 тыс. канатов общей длиной 270 тыс. км и суммарным дебитом 500 м<sup>3</sup>/сут, что составляет около трети водных ресурсов страны.

Народная гидротехника разработала свои приемы искусственного формирования подпесчаных пресноводных линз и магазинирования подземных вод [Кунин, Лещинский, 1960]. С этой целью собранную на глинистом водосборе (такыре) воду направляют в вырытое понижение или прямо в водопоглощающий колодец, откуда вода фильтруется и дости-

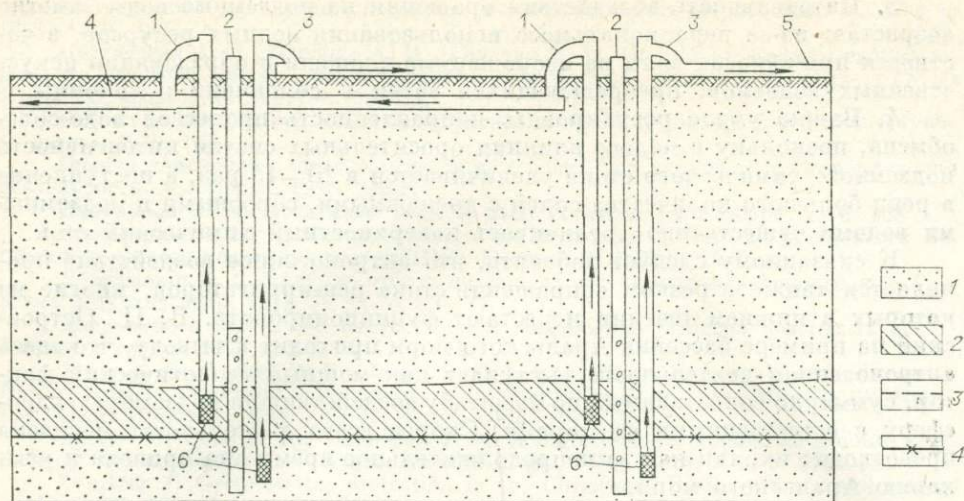


Рис. 10.1. Схема промышленного отбора пресных вод из подпесчаной линзы спаренными скважинами (по В. Н. Кунину).

1 — песок; 2 — линза пресных вод; 3 — уровень пресных и 4 — соленых вод. Цифры на рисунке: 1, 3 — эксплуатационные скважины, откачивающие пресную и соленую воду; 2 — контрольная скважина; 4 — подача потребителю пресной воды; 5 — отвод в пустыню соленых вод; 6 — фильтры эксплуатационных скважин.

гает зеркала соленых вод. Просочившаяся дождевая вода образует на нем плавающую линзу пресных вод. В Кара-Кумах такой водой пользуются с незапамятных времен для бытовых нужд и водопоя скота [Колодин, 1981].

Наиболее широко подземные воды используются для водоснабжения и орошения в Сахаре: в недрах этой пустыни находится крупный артезианский бассейн с пресными водами. Подземные воды добываются скважинами; в связи с систематическим сокращением дебита последних водотбор жестко регулируется.

## 10.2. ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД КРИОЛИТОЗОНЫ

Практика освоения севера европейской части СССР, Сибири и Дальнего Востока показывает, что природа криолитозоны (территории распространения многолетнемерзлых пород) легкоранима и быстро реагирует на вмешательство человека. Наиболее чувствителен к внешним воздействиям водно-термический режим криолитозоны. Уже след тракторных гусениц может его нарушить, а различного рода строительство кардинально меняет характер взаимодействия наземной и подземной гидросферы. А ведь на криолитозону приходится почти половина территории СССР!

Панцирь криолитозоны, казалось бы, надежно препятствует загрязнению подземных вод с поверхности. Однако многолетняя мерзлота совсем не такая уж «вечная», как это иногда представляется: она является весьма динамичным феноменом [Некрасов, Климовский, 1978]. Производственная деятельность человека, вызывая нарушение веками сложившегося водно-термического режима, приводит к деградации или аградации мерзлоты, образованию просадочных форм с последующим заполнением их водой, солифлюкции, засолению почв, активизации наледообразования. В итоге нарушается охранная функция криолитозоны по отношению к подземным водам.

На территории развития многолетнемерзлых пород довольно легко подвергаются загрязнению поверхностные воды. Из-за низких температур и продолжительного ледяного покрова самоочищающая способность открытых водоемов и водотоков крайне низка. Недостаток кислорода в во-

де часто ощущается даже в естественных условиях, что обычно в конце зимы приводит к замору рыбы. В Восточной Сибири, например, самоочищающая способность рек на порядок ниже, чем в средней полосе европейской части Советского Союза. Поэтому сброс неочищенных или недостаточно очищенных стоков (скажем, от горно-обогатительных комбинатов) в такие реки крайне опасен. Это обстоятельство учитывается, в частности, на БАМе. Более 50% объектов стройки приходится на бассейн Лены. Сейчас воды имеют здесь первозданную чистоту. Надо стремиться к тому, чтобы они оставались чистыми и впредь, чтобы попадание загрязнителей в них было сведено к минимуму, а зимой — вообще исключено [Пиннеркер, 1979].

Подземные воды не столь уязвимы, как поверхностные. Но и им угрожают загрязнители. Бережного отношения требует прежде всего сезонноталый слой, который замерзает зимой и оттаивает летом. Загрязняющие вещества в нем, как это установлено, способны концентрироваться. Процесс, раз начавшись, продолжается необратимо. По мнению специалистов [Толстихин, Климочкин, 1973], он подобен «ценной реакции» приводящей к появлению подземных вод, непригодных для хозяйственно-питьевого использования. Поскольку на территории развития многолетнемерзлых пород мощность зоны аэрации весьма мала, возможность естественной очистки вод тут крайне ограничена. Проникают загрязнители также в подрусловые талики, образующие с поверхностными водами единую водонапорную систему.

Криогенная метаморфизация состава подземных вод, обязанная процессам промерзания и оттаивания, вызывает сама по себе повышение минерализации (до 3—10 г/л, а иногда и больше), т. е. в надмерзлотном водоносном горизонте происходит не столько разбавление сбрасываемых стоков, сколько их концентрирование. Особенно вредно проникновение промышленных и коммунально-бытовых стоков в черте населенных пунктов и промышленных предприятий, где из-за малой мощности сезонноталого слоя (не более 1,5—2,5 м) и слабого дренажа, что весьма характерно для аллювиальных равнин, постепенно накапливаются загрязнители. В результате надмерзлотный водоносный горизонт из источника водоснабжения, чем он служит во многих населенных пунктах, превращается в зловойный коллектор.

В Якутске и его окрестностях на низких террасах р. Лены по этой причине отрицательнотемпературные линзы надмерзлотного водоносного горизонта постепенно превратились в высокоминерализованные воды. Формирование таких линз происходит под обсыхающими озерами и старицами в основании слоя наиболее значительных колебаний температур (3—4 м) или непосредственно под ним. Рост минерализации обязан попаданию бытовых и хозяйственных стоков, и за более чем 300-летнюю историю города минерализация достигла местами 35—100 г/л при температуре соответственно от  $-2,4$  до  $-5,8^{\circ}\text{C}$  [Анисимова, 1981]. На отдельных давно обжитых участках в центре Якутска она даже приближается временами к 200 г/л; в составе преобладают хлориды натрия и магния.

Загрязнение сравнительно легко проникает в недра земли по таликам. В качестве примера сошлемся на загрязнение подземных вод подозерных таликов (табл. 10.1). По таликам, как известно, происходит интенсивное взаимодействие подземных вод с поверхностными. Зимой, когда многие выводящие талики становятся из-за изменения естественного водно-термического режима или истощения водоносных горизонтов поглощающими, очаги разгрузки подземных вод превращаются в участки питания и загрязнения подземных вод. Нередко при эксплуатации меж- или подмерзлотных водоносных горизонтов искусственно меняется термодинамическая обстановка, что приводит к нарушению изоляции водоносных горизонтов и смещению пресных подземных вод с минерализованными. Подобная опасность вполне реальна при проходке скважин с промывкой горячей водой или их эксплуатации с применением подогрева греющим кабелем. В таких случаях вокруг ствола (иногда и на большей площади) возможны

Химический состав загрязненных подземных вод в талых под обсыхающими озерными котловинами Центральной Якутии [Анисимова, 1981]

Местонахождение	Глубина, м	Окисляемость, мг/л O <sub>2</sub>	Содержание, мг/л				Формула Курлова
			NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
Окрестности пос. Чурапча, алас	3—6,5	148,6	24,0	2,5	Не обн.	81,8	$M_{1,2} \frac{HCO_3 84 Cl 10}{(Na + K) 40 Mg 38 Ca 22} H_{14,5}$
Алас Хомустах	10	>100	3,0	1,5	360,0	216,0	$M_{3,1} \frac{HCO_3 76,6 SO_4 12,2}{(Na + K) 4,3 Mg 35} H_{31,9}$
Обоихее дно озера на II надпойменной террасе	19—20	100	20,0	1,0	2948,9	124,0	$M_{4,3} \frac{SO_4 93}{Mg 37 (Na + K) 35 Ca 28} H_{42,9}$
	7	Не опр.	7,0	37,0	4,0	14,6	$M_{0,5} \frac{HCO_3 95,9 Cl 13,3}{(Na + K) 30,4 Ca 43,2 Mg 26,4} H_{7,4}$
Табангская терраса, алас	4—10	»	1,0	3,5	1223,5	519,8	$M_{4,2} \frac{SO_4 39,6 HCO_3 35,8 Cl 123}{Mg 48,8 Ca 27,7 (Na + K) 23,5} H_{46,7}$

Примечание. Алас Хомустах и Чурапча — по данным А. М. Федорова, Н — жесткость, мг-экв./л.

инфильтрация загрязняющих вод и прогрессирующее изменение естественного водно-термического режима в нежелательном направлении.

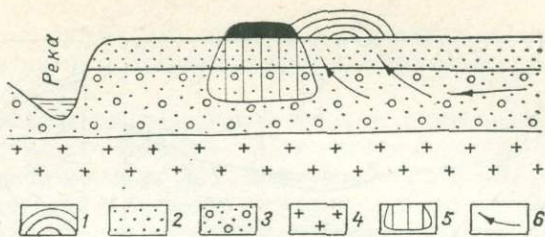
Таким образом, охрана подземных вод криолитозоны от загрязнения должна опираться на сохранение естественного термодинамического равновесия в системе поверхностные воды — мерзлые породы — подземные воды. Сдвиг его вызывает негативные, а порой и необратимые последствия: усиление взаимодействия поверхностных и подземных вод, проникновение загрязняющих веществ не только в надмерзлотные, но также в меж- и подмерзлотные воды.

Это же условие, т. е. сохранение естественного термодинамического равновесия, обязательно должно соблюдаться в целях защиты ресурсов подземных вод криолитозоны от истощения. Ведь усиление промерзания или, наоборот, протаивания пород вызывает изменение их водопроницаемости и путей движения подземных вод, миграцию источников, уменьшение производительности и даже полное промерзание водоносного горизонта. Если же для предотвращения истощения и применяются нарушающие это равновесие мероприятия, то они опираются на выверенные практикой закономерности формирования и распространения подземных вод. В качестве примера можно назвать хотя бы активные способы борьбы с наледеобразованием.

Наледи — свидетельство естественного истощения ресурсов подземных вод в период их минимального пополнения. Среди природных вод они занимают особое место, представляя проявление подземных вод, излившихся на поверхность и застывших в месте выхода (речные наледи образуются при

Рис. 10.2. Схема образования наледи перед дорожной насыпью в результате частичного промерзания грунтового водоносного горизонта.

1 — наледь; 2 — супесь; 3 — водоносные гравийно-галечные отложения; 4 — коренные породы; 5 — образовавшаяся линза мерзлых пород под насыпью; 6 — направление движения грунтовых вод.



условии, если реки имеют исключительно подземное питание). При борьбе с наледообразованием истощение ресурсов подземных вод легко может усилиться. Уже малейшее изменение термодинамического равновесия в системе подземная вода — мерзлая порода, вызванное любым инженерным сооружением (скажем, канавой или дорогой), нередко приводит к тому, что перехватывается подземный поток и перестают функционировать родники или иссякают колодцы, служащие в таких местах единственным источником водоснабжения. Очень часто наледи образуются вдоль дорожных насыпей, под которыми вследствие уплотнения грунта появляются линзы мерзлых пород, что и служит причиной частичного промерзания водоносного горизонта (рис. 10.2). Чтобы исключить столь нежелательные последствия, противоналедные мероприятия должны учитывать природу наледей и «вписываться» в выработанный столетиями водно-термический режим.

На рис. 10.3 показаны две внешне одинаковые наледи у полотна железной дороги, но совершенно различные по генезису и поэтому нуждающиеся в разных мероприятиях для предотвращения наледообразования. Часто, особенно в случае питания наледей за счет глубоких подземных вод, предотвратить наледообразование могут только сложные устройства, включающие целую систему дренажных и каптажных сооружений.

Важнейшим отличием распределения подземных вод криолитозоны в сравнении с территориями, для которых многолетнее промерзание отсутствует, является локализация подземных вод (во всяком случае это характерно для пресных вод) в пределах надмерзлотной части гидрогеологического разреза, в самой мерзлой толще и даже в верхней подмерзлотной его части. Подземные воды встречаются, во-первых, в таликах, сквозных и несквозных, замкнутых или незамкнутых, обычно тесно связанных гидравлически с поверхностными водными объектами или зонами интенсивного движения подземных вод и, во-вторых, в зонах тектонической или криогенной трещиноватости, где скопления чаще всего небольшие. Рассмотрим с водоохраных позиций наиболее типичные для криолитозоны резервуары подземных вод (рис. 10.4), приуроченные к таликам и используемые для водоснабжения.

На рис. 10.4, А подземные воды сосредоточены в несквозном (по разрезу) и замкнутом (в плане) открытом с поверхности талике, в частном и довольно характерном случае приуроченном к озерной котловине, выполненной озерными или озерно-аллювиальными проницаемыми отложениями.

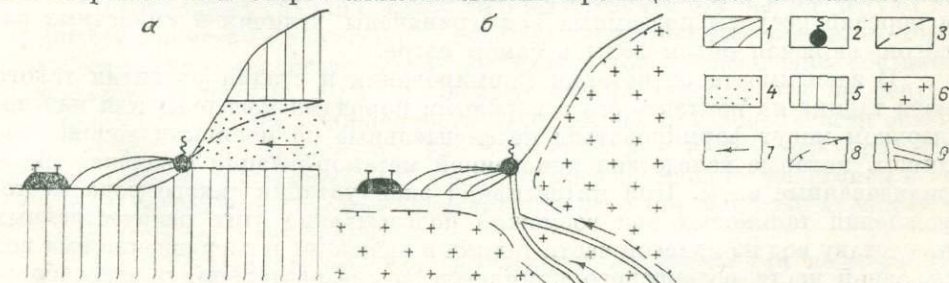


Рис. 10.3. Типовые схемы наледей на БАМе: а — на таликах в мерзлых породах; б — в случае талика среди многолетнемерзлых пород.

1 — наледь; 2 — выход подземных вод; 3 — уровень подземных вод; 4 — водоносный горизонт; 5 — водоупорные породы; 6 — кристаллические породы; 7 — движение подземных вод; 8 — граница многолетнемерзлых пород; 9 — водопродводные каналы (зона тектонического нарушения).

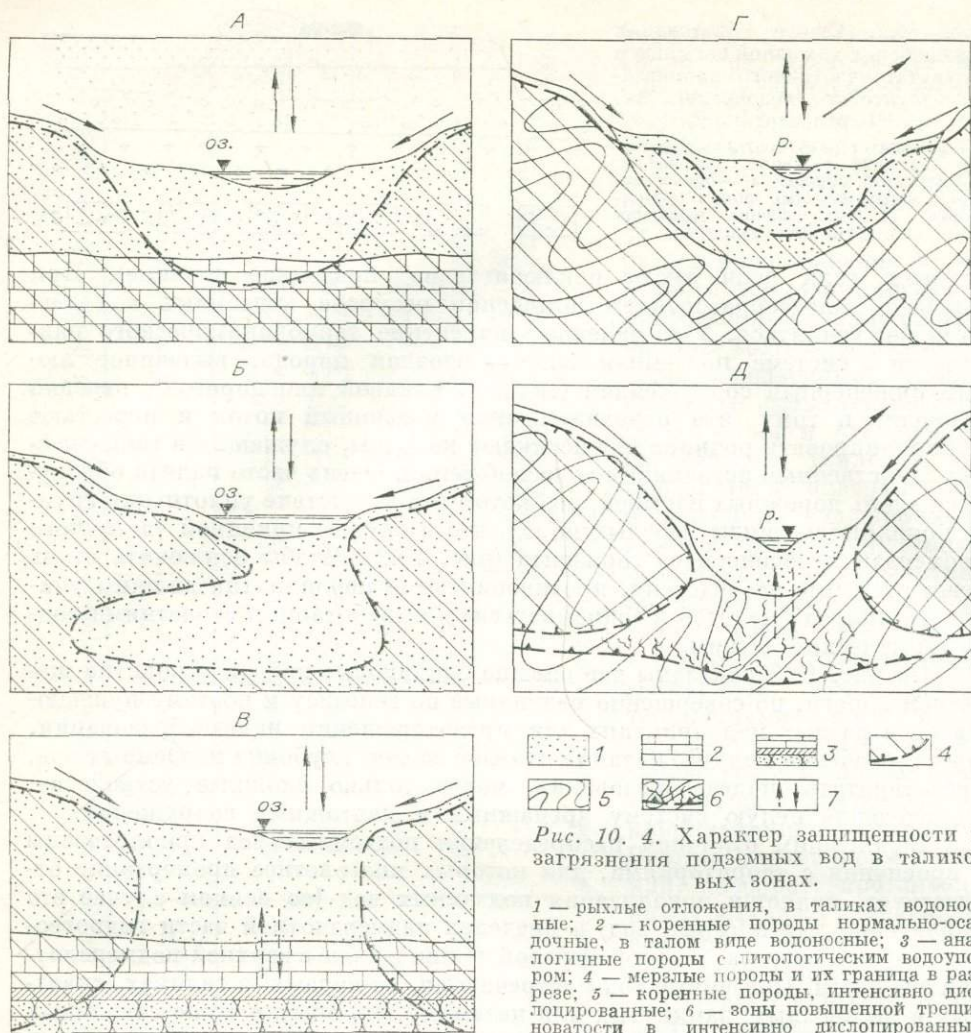


Рис. 10. 4. Характер защищенности и загрязнения подземных вод в таликовых зонах.

1 — рыхлые отложения, в таликах водоносные; 2 — коренные породы нормально-осадочные, в талом виде водоносные; 3 — аналогичные породы с литологическим водоупором; 4 — мерзлые породы и их граница в разрезе; 5 — коренные породы, интенсивно дислоцированные; 6 — зоны повышенной трещиноватости в интенсивно дислоцированных коренных породах; 7 — направление движения природных вод.

Надмерзлотные таликовые воды в этом случае не защищены и могут быть легко загрязнены с поверхности. Их естественные ресурсы в случае непроточного озера ограничены величиной емкостных запасов и легко исчерпаемы в силу отсутствия боковой приточности.

Резервуар (рис. 10.4, Б), по существу, близок к описанному выше, но таликовые воды здесь над- и межмерзлотные и гораздо лучше защищены с поверхности мерзлотным козырьком. Восполнение естественных ресурсов таликовых вод и водообмен с поверхностью еще менее благоприятны и нередко ресурсы подземных вод ограничены величиной емкостных запасов, включая объем воды в самом озере.

В зависимости от истории формирования и стадии развития такого рода талика на контакте его с мерзлыми породами козырька или над козырьком могут формироваться незначительные по мощности водоносные линзы, которые вследствие криогенной метаморфизации содержат минерализованные воды. При интенсивной эксплуатации такого рода месторождений таликовых вод возможно подсосывание этих некачественных по составу вод из краевой части талика к скважине и загрязнение ими вод основной части водоносного комплекса, а следовательно, и водозабора. Подобная ситуация, в частности, сложилась в результате длительной (более 15 лет) эксплуатации подземных вод одного из таликов в окрестностях г. Якутска, расположенного в аласной котловине Хомустах. Минерализация подземных вод в водозаборе сначала возросла с 0,46 до 1 г/л,

а впоследствии перешла и этот рубеж (см. табл. 10.1), значительно повысилась содержание сульфата магния. Возник вопрос о перенесении водозабора.

На рис. 10.4, В показан сквозной, замкнутый в плане талик, отмеченный, в частности, у озера возле Якутска. При отсутствии литологических водоупоров в подобном талике над-, меж- и подмерзлотные воды образуют единую гидравлически связанную систему, питание которой обычно осуществляется с поверхности и лишь в условиях высоких напоров — из глубины за счет подмерзлотных вод. Соответственно на качество подземных вод активно влияет загрязнение поверхности и поверхностных (в данном случае озерных) вод, а также состав подмерзлотных вод, могущих питать межмерзлотные таликовые воды при интенсивной эксплуатации последних. В подобной ситуации ресурсы подземных вод особенно тесно связаны с их качеством, что необходимо учитывать при определении водоохранных зон при их эксплуатации. Такие талики обычно развиваются под руслами рек, реже распространяются в пределы высоких речных террас, если последние сложены высокопроницаемыми аллювиальными отложениями.

Показанный на рис. 10.4, Г резервуар характеризует подземные воды в долинном подрусловом талике, соответственно несквозном и незамкнутом в плане. Подземные воды тут не защищены и могут быть легко загрязнены с поверхности в случае загрязнения поверхностных вод или поверхности террас. Величина естественных ресурсов определяется в основном водобалансовыми параметрами, в том числе притоком подземных вод по русловому аллювию. Боковая приточность носит сезонный характер и проявляется только в летнее время. В подобных условиях естественные ресурсы подземных вод испытывают значительные колебания по сезонам года и в критический водный период бывают истощены вплоть до полного прекращения поверхностного и подземного стока.

Несколько иные условия характеризуют скопления подземных вод в сквозных долинных подрусловых таликах, где скапливаются гидравлически связанные с рекой воды аллювиальных отложений, межмерзлотной трещиноватой зоны подстилающих коренных пород и зоны подмерзлотной трещиноватости (рис. 10.4, Д). Для такого рода скоплений подземных вод характерна высокая динамичность, теснейшая взаимосвязь под-, меж- и надмерзлотных вод с водами поверхностными и, следовательно, загрязнение последних неизбежно и тотчас отразится на состоянии вод подземных. Ресурсы подземных вод несколько более зарегулированы, чем на рис. 10.4, В, однако также существенно изменяются в течение года и резко снижаются в критический водный период за счет ледовых явлений, наледного и сезонно-мерзлотного регулирования. Эти обстоятельства ограничивают возможности использования ресурсов подземных вод такого рода скоплений и требуют водоохранных мероприятий, одним из которых является восполнение ресурсов подземных вод в пределах водоносной системы, связанной с долиной реки.

В отдельных случаях, когда долины современных рек наследуют древние тектонические депрессии — грабены, выполненные мощными рыхлыми отложениями, резервуары подземных вод, отвечающие обстановке, показанной на рис. 10.4, Д, бывают весьма значительны по ресурсам, однако условия их защищенности от загрязнения с поверхности остаются столь же неблагоприятными. Так обстоит дело с над- и межмерзлотными скоплениями подземных вод, довольно широко использующимися в практике и имеющими большое значение для решения вопросов хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Более благоприятны условия защиты с поверхности подмерзлотных вод зоны региональной подмерзлотной трещиноватости криогенных бассейнов напорных вод и артезианских бассейнов платформенного типа. Следует иметь в виду, что надежный криогенный водоупор нередко перестает быть таковым в связи с заложением разного рода инженерных сооружений, в том числе водозаборных скважин, вдоль ствола которых под

влиянием теплового поля скважины формируются талики, и надмерзлотные воды могут проникать в подмерзлотный водоносный горизонт. Подобный случай имел место, например, при разведке Маганского талика на высокой террасе р. Лены: в результате взаимодействия надмерзлотных вод с подмерзлотными по затрубному талому пространству был искажен химический состав и уровенный режим подмерзлотного водоносного горизонта.

Следует еще раз подчеркнуть значение конструкции водозаборных скважин для обеспечения качества подземных вод эксплуатируемого водоносного горизонта, в частности — самой тщательной изоляции затрубного пространства цементированием. Переход пород прискважинной зоны гидрогеологического разреза из мерзлого состояния в талое под отепляющим воздействием эксплуатирующейся скважины приводит к взаимодействию различных водоносных горизонтов, в том числе и криогенно метаморфизованных или неблагоприятных по составу — подмерзлотных. Подобные ситуации довольно характерны и нередко возникали при разведочных работах в таликах Центральной Якутии.

Все сказанное свидетельствует о том, что при едином подходе к охране подземных вод, в криолитозоне должны учитываться специфика закономерностей их распространения, формирования, взаимодействия с поверхностными водами и мерзлыми породами, а также особенности работы водозаборных скважин, эксплуатация которых может приводить к существенной гидрогеодинамической и гидрогеохимической перестройке скоплений подземных вод.

#### ЛИТЕРАТУРА

Анисимова Н. П. Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны. Новосибирск: Наука, 1981. 152 с.

Каграманов Ю. Б. Водопроводно-канализационное хозяйство Туркменской ССР. ТуркменНИИИТИ Госплана ТССР. Ашхабад, 1978, с. 66.

Колодин М. В. Воды и пустыни. М.: Мысль, 1981. 120 с.

Кунин В. Н., Лещинский Г. Т. Временный поверхностный сток и искусственное формирование грунтовых вод в пустыне. М.: 1960. 160 с.

Некрасов И. А., Климовский И. В. Вечная мерзлота зоны БАМ. Новосибирск: Наука, 1978. 120 с.

Островский В. Н. Аридный тип формирования подземных вод. Автореф. докт. дисс. М., 1981. 35 с.

Пиннекер Е. В. Охрана подземных вод. Новосибирск: Наука, 1979. 70 с.

Толстихин О. Н., Климочкин В. В. Охрана подземных вод территории мерзлой зоны Сибири в системе мероприятий по охране окружающей среды. Иркутск — Новосибирск, 1973, с. 118—119.

## 11. ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

Человек только потому и создал современную цивилизацию, что использовал природные ресурсы. Жить, не оказывая воздействия на природную среду, нельзя. Среди других элементов окружающей среды на всех этапах развития цивилизации антропогенному воздействию подвергалась и подземная гидросфера.

Создание оросительных систем, вырубка лесов, водоотбор из недр земли — эти и другие мероприятия изменяли режим как подземных вод, так и других компонентов подземной гидросферы. Но человек не только изменял режим подземной гидросферы: он пытался так или иначе регулировать ее качественное состояние и ресурсы. Уже на заре цивилизации при сооружении ирригационных систем ставилась цель — управлять влажностью почвы. В наше время, когда антропогенное воздействие из локального становится региональным и распространяется из верхних горизонтов на глубину 3—5 км, а в дальнейшем, несомненно, еще глубже, естествен-

ный режим подземных вод постепенно переходит в нарушенный (искусственный). Количественно и качественно меняются также другие компоненты подземной гидросферы: скажем, водоотбор из верхних и глубоких горизонтов вызывает уменьшение ресурсов связанной воды, а, например, заводнение нефтегазовых месторождений — их увеличение и изменение геохимической среды. В перспективе переход естественного режима в нарушенный будет захватывать всю сферу приложения техногенных нагрузок: сначала территории хозяйственного освоения и в первую очередь сравнительно небольшие глубины, а потом распространится вширь и вглубь.

В эпоху научно-технической революции перед человечеством со всей остротой вырисовывается важная и сложная проблема управления режимом подземной гидросферы. Проблема заключается в направленном воздействии на различные компоненты подземной гидросферы — подземные воды, почвенную влагу, физически и химически связанную воду, пароводяную смесь и т. д. Комплексный подход к регулированию качественного состояния и ресурсов внутриземной влаги позволяет надеяться на разработку мероприятий по управлению режимом подземной гидросферы. С другой стороны, эта разработка немыслима без хорошего знания гидрогеологических закономерностей и геологических процессов, протекающих в земных недрах с участием воды. Иначе говоря, мероприятия по управлению режимом подземной гидросферы должны иметь надлежащее научное обоснование.

#### 11.1. СТРАТЕГИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

В 1980 г. Организацией Объединенных Наций и другими международными учреждениями провозглашена Всемирная стратегия охраны природы [Ефремов, Хозин, 1981]. Документ знаменует качественное изменение сложившейся системы отношений общества и природы, в нем переосмыслен весь процесс антропогенного воздействия на окружающую среду и ставится задача перестройки этого взаимодействия. Основные цели Всемирной стратегии охраны природы сводятся к поиску новых форм рациональной организации и практического использования постоянно растущего научно-технического потенциала с тем, чтобы совершенствовать систему знаний о природе и выявить экологически наиболее эффективные пути и меры ее охраны. Она исходит из современных оценок техногенных перегрузок, которые показывают серьезность положения и необходимость изменения действующих тенденций. Вот два примера, имеющих отношение к режиму подземной гидросферы: 1) 40% влажных тропических лесов, регулирующих сток, уже уничтожено, а оставшаяся часть выжигается и выкорчевывается со скоростью 44 га/мин; 2) 19% поверхности суши (30 млн. км<sup>2</sup>) находится под угрозой опустынивания — пустыни наступают с такой же скоростью, как уничтожаются тропические леса. По мере выполнения одних положений программы их место займут новые актуальные задания. Таким образом, предлагаемая стратегия все время будет отвечать современному этапу развития цивилизации, который и определяет характер взаимоотношений общества и природы.

Всемирная стратегия охраны природы провозглашается как система рациональных методов управления деятельностью человека в деле освоения природных ресурсов. Среди важнейших ее задач мы встречаем разработку системы критериев экономической оценки природных ресурсов, исключение необратимых изменений окружающей среды, учет географического распределения природных ресурсов и тщательную оценку оптимального времени их эксплуатации. В качестве наиболее важных условий и предпосылок, гарантирующих успех мероприятий по охране природы, названы [Ефремов, Хозин, 1981]: 1) постоянный учет степени антропогенного воздействия на природу; 2) выявление причин разрушительного (необратимого) воздействия и по возможности их полное искоренение;

3) тщательное изучение совместными усилиями представителей различных наук вероятных негативных последствий и разработка методов их нейтрализации и 4) воспитание активной мировоззренческой позиции по вопросам охраны природы у всех людей.

В основу стратегии охраны подземной гидросферы следует положить защитную профилактику и прогноз последствий и производственной деятельности человека [Пиннекер, 1979], что позволит регулировать качественное состояние и ресурсы подземной гидросферы, разработать методы управления природными и техногенными процессами, на нее воздействующими.

Во многих случаях негативные последствия техногенных нагрузок легче, дешевле и проще предотвратить, чем ликвидировать. Уже поэтому охрана подземных вод и других составных частей подземной гидросферы должна строиться на защитной профилактике. Следует иметь в виду, что загрязнение и истощение ресурсов подземных вод или почвенной влаги обычно отрицательно влияет на внешнюю экосистему и природные ландшафты, порой приводит, как мы видели, к необратимым последствиям. Правда, внутриземные воды в отличие от поверхностных труднее и медленнее подвергаются загрязнению, однако если в подземные резервуары попали нежелательные соединения (ядовитые, токсичные и т. д.), то избавиться от них бывает гораздо труднее. Консервативность самоочищения гидрогеологической среды как раз и выдвигает профилактику в качестве основного пункта стратегии охраны подземной гидросферы.

Защитная профилактика начинается с учета всего того, что грозит или может угрожать подземной гидросфере, с «инвентаризации» источников загрязнения и путей истощения ее ресурсов. Одновременно следует расширить регулярные наблюдения за режимом подземных вод. У нас в стране такая задача возложена на режимные гидрогеологические станции с их разветвленной сетью наблюдательных постов (около 28 тыс.). Режимные гидрогеологические станции систематически сигнализируют об имеющихся неблагоприятиях и появлении техногенных перегрузок.

Чтобы профилактика была действенной, охрана подземной гидросферы нуждается в эффективном и жестком контроле. В СССР контроль за охраной подземных вод является неотъемлемой частью программы комплексного использования и охраны природных ресурсов. Он проводится в государственном масштабе и юридически узаконен («Основами водного законодательства Союза ССР и союзных республик», «Основами законодательства Союза ССР и союзных республик о недрах», постановлениями Партии и Правительства об усилении охраны природы и т. д.). Контроль за охраной подземных вод от загрязнения и истощения возложен на Министерство геологии СССР. Находящиеся в его ведении республиканские и территориальные геологические организации (объединения) совместно с представителями санитарного надзора и других контролирующих органов обязаны следить за рациональным использованием подземных вод. Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды осуществляет контролирующие и координирующие функции в широком плане. Координацию деятельности научных учреждений в изучении проблем охраны природы проводит Государственный комитет СССР по науке и технике.

Прямо скажем, эффективность контроля за охраной подземных вод а также и за остальными компонентами подземной гидросферы, исключая разве что почвенную влагу, недостаточная. Контролеры геологической службы и санитарного надзора, в сущности, только констатируют факт нарушения законодательства об охране подземных вод. Необходимы новые организационные формы учета и контроля охраны как подземных вод, так и подземной гидросферы в целом. Имеется предложение поручить эти функции специальному межведомственному научно-производственному объединению. От службы охраны подземной гидросферы мы вправе ожидать не только рекомендаций по профи-

лактике, но и прогноз последствий антропогенного воздействия на внутриземные воды. Примерно так, наряду с учетом и контролем, представляются основные задачи этой службы.

Почему большое значение придается также прогнозу? Недра земли человек издавна использовал для утилизации различных отходов, не забываясь о последствиях такого воздействия на подземную гидросферу. До середины XX в. подземная гидросфера, несмотря на свою относительно низкую самоочищающую способность, как правило, перерабатывала сбрасываемые нечистоты, а подземные водные ресурсы не только обеспечивали человечество, но казались безграничными. Однако в последние 30 лет, когда было выработано втрое больше всякого рода отходов, чем за всю историю цивилизации, техногенная нагрузка на подземную гидросферу неизменно возросла. Локальные перегрузки превратились в региональные. Негативные последствия, как мы видели в предыдущих главах, стали достигать критических значений, при этом в отличие от поверхностных вод признаки загрязнения и истощения ресурсов подземной гидросферы обнаруживались не сразу, а большей частью спустя годы и даже десятилетия.

Поэтому к любому антропогенному воздействию на подземную гидросферу — будь то водоотбор из недр земли, мелиорация земель или захоронение промышленных стоков на глубину в несколько километров — надо относиться с позиций не сегодняшнего дня, а будущего. Словом, количественный прогноз воздействия производственной деятельности человека является таким же необходимым звеном стратегии охраны подземной гидросферы, как и профилактика.

Прогноз загрязнения и истощения ресурсов подземной гидросферы опирается на закономерности водо-, массо- и теплообмена в недрах земли. Его задача — получение количественных параметров в природных условиях с помощью моделирования, специальных расчетов на ЭВМ, по формулам динамики подземных вод или физико-химической гидрогеодинамики [Бочевер, Орадовская, 1972; Минкин, 1972; Гольдберг, 1976; Прогноз..., 1978; Оценка изменений..., 1978; Фрид, 1981; и др.] и учетом воздействия этих изменений на всю экосистему — подземную и наземную. Конечно, научное предвидение не самоцель. Оно необходимо для разработки мероприятий регулирования качественного состояния и ресурсов подземной гидросферы.

## 11.2. РЕГУЛИРОВАНИЕ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТОЯНИЯ И РЕСУРСОВ ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

Усиливающаяся техногенная нагрузка на подземную гидросферу с каждым годом становится все более ощутимой. Местами начинает доминировать нарушенный режим, который как раз и представляет суммарное воздействие на подземную гидросферу производственной деятельности человека. Реально ли управление этим режимом?

Оказывается, реально, но трудно. Много столетий назад человек научился регулировать водно-солевой режим почв. Вполне успешно ведется направленное изменение качества и ресурсов подземных вод в результате, скажем, их искусственного восполнения или заводнения нефтегазовых месторождений. Удачными оказались и попытки управления равновесиями вода — лед и вода — пар в подземной гидросфере. Как мы видели в томе «Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах», заполнение водохранилищ и закачка воды в глубокие горизонты вызывают перераспределение свободных и связанных вод и приводят к такому, казалось бы, неожиданному эффекту, как землетрясения: уже ставятся эксперименты по разрядке сейсмических очагов закачиваемой с поверхности водой. Вот еще один пример: введенный в Японии контроль за откачкой подземных вод позволил, регулируя водоотбор,

приостановить оседание поверхности в Токио и других японских городах. Все это указывает на принципиальную возможность управления качеством и состоянием как верхних, так и глубоких водоносных горизонтов, воздействия на режим свободной и связанной воды, воды в жидкой, твердой и парообразной фазах.

Речь, следовательно, идет о регулировании естественного и нарушенного экологического равновесия в целях создания необходимой для человеческого общества природной обстановки. Это вовсе не означает запрета антропогенного воздействия на подземную гидросферу. Наоборот, необходимо обеспечить ход изменений ее режима в желательном для человека направлении, при котором составляющие элементы режима не нарушат гармонии окружающей среды, полностью исключат кризисные ситуации или замену природных систем на искусственные.

В сущности, гидрогеологам предстоит поиск модели оптимального взаимодействия подземной гидросферы с оказываемой на нее техногенной нагрузкой. Задача исключительно трудная, поскольку мы имеем дело с многофакторным процессом. Она к тому же новая для гидрогеологов, так как им предстоит иметь дело с природными элементами, находящимися в стадии постоянного изменения под влиянием производственной деятельности.

Управление режимом подземной гидросферы — по своему назначению сугубо прикладная проблема. В результате ее решения должны быть получены практические рекомендации и обоснование технических мероприятий по устранению негативных последствий и созданию экологического равновесия, благоприятного для развития человеческого общества. Вместе с тем это сложная научная проблема: вмешательство в жизнь подземной гидросферы требует высокого уровня знания гидрогеологических закономерностей и умения предвидеть последствия протекающих в ней процессов.

Наши знания, несмотря на огромные успехи научно-технической мысли, еще ограничены. Далеко не совершенна, как мы видели в предыдущих томах «Основ гидрогеологии», информация о жизни подземной гидросферы. Из-за ограниченности знаний прогнозы не всегда оправдываются, что заставляет весьма настороженно относиться к техногенным перегрузкам подземной гидросферы. Отсюда настоятельная необходимость углубленного изучения ее естественного и нарушенного состояния.

Управление режимом подземной гидросферы должно органически сочетаться с другими мероприятиями по преобразованию природы, т. е. проводиться с комплексным учетом возможного влияния на окружающую среду, в первую очередь — биосферу. Специальные системы, создаваемые для регулирования качества окружающей среды, получили название *мониторинга* антропогенных изменений биосферы [Израэль, 1977]. Мониторинг как организация государственной службы включает подсистемы *наблюдения, оценки и прогнозы*. С их помощью выявляются источники и факторы антропогенного воздействия, а также наиболее опасные ситуации, для чего служат блоки системы, нацеленные на оценку фактического и прогнозируемого состояния. Вероятно, широкая наблюдательная сеть и мониторинг антропогенных изменений в будущем станут основой управления процессами загрязнения и истощения ресурсов подземной гидросферы.

Мониторинг для регулирования (пока локального) изменения состояния подземных вод начал использоваться в США [Todd, Orren McNulty, 1976]. В 80-х годах намечается осуществить региональное гидрогеологическое прогнозирование «работы» подземных водоносных систем. Программа ЮНЕСКО по гидрогеологическим исследованиям, рассчитанная на 15 лет, также предусматривает управление ресурсами подземных вод в 57 развивающихся странах.

В заключение коснемся некоторых общих тенденций развития взаимоотношений человека и природы, знать которые необходимо в целях предотвращения загрязнения и истощения ресурсов подземной гидросферы.

Управление режимом подземной гидросферы нуждается не только в высоком уровне знаний о гидрогеологических закономерностях и процессах, требуется еще, по крайней мере, два условия: во-первых, совершенные технические устройства для регулирования состояния подземной гидросферы и, во-вторых, принципиально иное отношение человека к природе, новая этика экологической гармонии.

Научно-техническая революция, неимоверно обострив противоречия между человеческим обществом и природой, в то же время создала возможности для разрешения этих противоречий. В частности, задача снижения загрязнения окружающей среды, в том числе ресурсов подземной гидросферы, находит решение в освоении безотходного производства и совершенствования способов утилизации отходов. В. Н. Кунин [1976] безотходную технологию считает единственной альтернативой загрязнению водных ресурсов. Это дорого, сложно и трудно осуществить, но другого пути, пожалуй, действительно нет. Что же касается утилизации, то оказывается 80% (!) современных отходов, среди них и промышленные стоки, сбрасываемые сейчас в реки или недра земли, в случае применения специальной техники экономически рентабельно использовать повторно и, таким образом, изъять из числа загрязнителей. Безотходная технология и переработка подавляющей массы отходов окажутся реальными, если для этого будет необходимая техническая база. Не просто современная техника, а мощные научно-производственные объединения и специальная отрасль промышленности. Естественно, это требует средств, причем значительных. Здесь мы имеем как раз статью расходов, за счет которой нельзя экономить.

Человеческое общество стоит в преддверии эпохи осмысленного отношения к природе, в начале эпохи управления природными процессами. Суть этого перехода заключается в том, что природа начинает рассматриваться как подлинный партнер человека, а не только источник необходимых ему ресурсов. Эту эпоху гениально предсказал Ф. Энгельс: «Только общество, — писал он [К. Маркс, Ф. Энгельс. Соч., 2-е изд., т. 20, с. 307—308], — способное установить сочетание своих производительных сил по единому общему плану, может... устранить нынешнее отравление воздуха, воды, почвы...».

#### ЛИТЕРАТУРА

- Бочевер Ф. М., Орадовская А. Е. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения. М.: Недра, 1972.
- Гольдберг В. М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах. М.: Недра, 1976. 152 с.
- Ефремов Ю. К., Хозин Г. С. Всемирная стратегия охраны природы. — Знание. Сер. Науки о Земле, 1981, № 4. 48 с.
- Израэль Ю. А. К стратегии сохранения и регулирования качества природной среды. — Водные ресурсы, 1977, № 6, с. 5—12.
- Кунин В. Н. Подземные воды и охрана окружающей среды. — Природа, 1976, № 3, с. 70—76.
- Минкин Е. Д. Исследования и прогнозные расчеты для охраны подземных вод. М.: Недра, 1972. 109 с.
- Основы гидрогеологии. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах. Новосибирск: Наука, 1982. 238 с.
- Оценка изменений гидрогеологических условий под влиянием производственной деятельности. М.: Недра, 1978. 264 с.
- Пиннекер Е. В. Охрана подземной гидросферы. — Знание. Сер. Науки о Земле. 1979, № 8. 48 с.
- Прогноз качества подземных вод в связи с их охраной от загрязнения. М.: Наука, 1978. 208 с.
- Фрид Ж. Загрязнение подземных вод: Теория, методика, моделирование и практические приемы. М.: Недра, 1981. 304 с.
- Bennett G. D. Ground water: an undervalued resource. — *Ged. Surv. Yearbook, Fiscal Year 1978*. Washington, D. C., 1979, p. 7—12.
- Todd D., Orren McNulty D. Polluted Groundwater. WJC, 1976, 178 p.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая книга завершает шеститомную монографию «Основы гидрогеологии». Опираясь на накопленный опыт и современную тенденцию развития гидрогеологии, наметим контуры этой науки на обозримую перспективу.

Возникнув столетие назад как прикладная отрасль знаний, гидрогеология уже в первые годы была нацелена на решение актуальных практических задач — освоение подземных вод в хозяйственных целях и борьбу с ними при проведении различных видов строительства. Названные задачи были главной движущей силой этой науки во все времена, сохранятся они и в будущем. Степень их воздействия с каждым годом усиливается, так как колоссально возрастает использование подземных вод и все труднее становится борьба с ними.

В книге показано, что использование подземных вод на земном шаре имеет устойчивую тенденцию роста. Так, у нас в стране общее водопотребление возросло с 40 км<sup>3</sup>/год в 1900 г. до 300 км<sup>3</sup>/год в 1976—1980 гг., при этом доля подземных вод в нем изменилась в среднем от 4—5% в 1940 г. до 18—20% в 1976—1980 гг., т. е. достигло 50—60 км<sup>3</sup>/год. Таким образом, если общее водопотребление увеличилось за 75 лет в 7,5 раза (кстати, в США за 60 лет — с 1900 по 1960 г. — в шесть раз), то использование подземных вод росло более высокими темпами: только за последние 35—40 лет оно повысилось в 15 раз! Сейчас прирост ориентировочно составляет ежегодно 5%.

Говоря о будущем, следует учитывать, что подземные воды представляют интерес не только для водоснабжения. Еще больше их расходуется на орошение. Во всевозрастающих объемах они извлекаются для лечебных (на курортах и заводах розлива), промышленных (получение необходимых промышленности компонентов) и термоэнергетических целей.

Поскольку современное строительство масштабнее, ведется весьма ускоренными темпами, в более экстремальных, как правило, физико-географических и геологических условиях, борьба с подземными водами с каждым годом усложняется. Например, горно-добывающие предприятия достигают огромных размеров, быстро увеличивают добычу, проникают на глубины в сотни и тысячи метров. Естественно, в таких условиях значительно труднее вести осушение. Кроме того, постоянно увеличивается потребность в полезных ископаемых. Если в СССР в 50-х годах из недр земли извлекалось 2 млрд. т минерального сырья, в конце 70-х годов его добывалось уже 14 млрд. т. А ведь на каждую тонну добытой горной массы приходится от 1 до 10 м<sup>3</sup>, нередко даже больше откачиваемых подземных вод, т. е. осушение месторождений ведется интенсивнее, чем идет прирост добычи минерального сырья.

Увеличивающееся воздействие производственной деятельности человека на окружающую среду поставило перед гидрогеологами новую задачу — рационального использования и охраны подземных вод, которая стала весьма острой уже в середине XX века. Техногенная нагрузка на подземные воды прогрессирует. Она приводит к нарушению естествен-

ного режима, загрязнению и истощению как подземных вод, так и других компонентов подземной гидросферы. Уже сейчас антропогенное воздействие чувствуется во многих городах в пределах горно-промышленных и сельскохозяйственных комплексов. Влияние это ощущается не только в верхних горизонтах, но и на глубинах в несколько сотен и даже тысяч метров. Разработка методов эффективного противодействия техногенной нагрузке, рациональное использование ресурсов подземной гидросферы, усиление их охраны — такие требования сейчас предъявляются гидрогеологам. В качестве основ охранных мероприятий, обеспечивающих их действенность, следует считать профилактику вредных воздействий и прогноз вызываемых ими последствий.

В совокупности задачи, выдвигаемые жизнью, стимулировали превращение гидрогеологии в комплексную науку с прикладными и теоретическими разделами. Это привело к становлению теоретической гидрогеологии, ее дифференциации, усилению естественно-исторического и генетического начала.

Достигнутый уровень теоретических исследований позволил осуществить серьезный скачок в развитии гидрогеологии как науки. Он выразился в том, что период господства описательного элемента, т. е. описания явлений и сбора фактов, сменился стадией, когда в науке, наряду с накоплением информации, начинает преобладать стремление вскрыть причины процессов и познать их закономерности. Без теоретического осмысления достигнутого нельзя представить движения вперед и обеспечить выполнение усложняющихся задач практики.

В будущем значение теории в гидрогеологии, с одной стороны, возрастет, с другой — качественно изменится, что без сомнения приведет к принципиально новым научным обобщениям.

Гидрогеологические исследования распространяются вширь и вглубь. Получаемый при этом уникальный материал позволит, несомненно, сформулировать новые гидрогеологические идеи, а количественная оценка геологической роли воды даст возможность с иных позиций познать гидрогеологические закономерности, охарактеризовать процессы числом и мерой.

Предмет гидрогеологии — «продукт» сложной геологической истории, испытывающий влияние множества факторов, процессов и обстановок, которые невозможно учесть ни сейчас, ни, пожалуй, в будущем. Поэтому его познание должно базироваться на историко-генетическом подходе. Синтез историко-генетического направления, новой уникальной информации и количественной оценки геологической роли воды — вот что позволит вывести на более высокий уровень гидрогеологическую теорию. В сущности, тут следует ожидать крупных открытий и выявления важных закономерностей, касающихся фундаментальных начал гидрогеологии.

Перечисленными задачами и проблемами далеко не исчерпываются пути развития гидрогеологии. Потенциальные возможности ее значительно шире и разностороннее. Многие прикладные аспекты стали вырисовываться только сейчас, в последней трети XX в. Существенный импульс получает, например, использование парогидротерм как нетрадиционного и возобновляемого источника энергии. Все большее значение приобретает извлечение из подземных вод новых промышленно ценных компонентов. Подобные примеры можно продолжить.

Подземные воды как составная часть подземной гидросферы остаются основным предметом гидрогеологических исследований, поскольку прежде всего от гидрогеологов требуется обеспечить потребность в пресной воде. Разница, однако, заключается в том, что подземные воды должны изучаться не сами по себе, а в тесной связи с другими внутривоздушными разновидностями  $H_2O$ . Речь идет не просто о смещении акцента, но о принципиально ином подходе. Только когда гидрогеолог познает жизнь всех разновидностей  $H_2O$  в земных недрах, он сможет понять характер движения и закономерности формирования подземных вод.

Современный период в гидрогеологии является переходным. Гидрогеология из учения о подземных водах превращается в науку о подземной гидросфере, из описательно-прикладной дисциплины в комплексную науку с многочисленными теоретическими направлениями исследований. В связи с прогрессирующим воздействием человека на подземную гидросферу (не на одни подземные воды, а на все внутриземные разновидности  $H_2O$ ) и во избежание необратимых негативных последствий перед гидрогеологией встает новое важное интересное и ответственное требование жизни — управление режимом подземной гидросферы.

Это будет, несомненно, главная цель гидрогеологических исследований на обозримую перспективу. Проблема многогранна и трудна. В сущности, речь идет о решении кибернетической задачи — поиске оптимального взаимоотношения подземной гидросферы с оказываемыми на нее техногенными нагрузками, с учетом другой важной задачи — обеспечение человечества пресной водой. Предстоит дать количественный прогноз возможных последствий и разработать на его основе мероприятия по регулированию режима всех внутриземных разновидностей  $H_2O$ . Являясь по целевому назначению сугубо прикладной задачей, ибо от нее ожидаются практические рекомендации и обоснование технических мероприятий, это требование жизни нуждается в серьезных, глубоких и принципиально новых научных разработках, поскольку вмешательство в жизнь подземной гидросферы должно опираться на хорошее знание гидрогеологических процессов и закономерностей.

В основе научных разработок следует иметь прочные знания. Сейчас уже нельзя удовлетвориться объяснением процессов и выявлением закономерностей. На первый план выдвигается научное предвидение и обоснованный прогноз. Имеющиеся попытки направленного воздействия на режим подземной гидросферы в большинстве случаев оказались успешными. Но были также нежелательные или непредвиденные последствия, что заставляет быть весьма осторожными, ибо техногенные перегрузки в будущем приобретут глобальный характер. Поэтому работы эмпирического характера также нельзя недооценивать. Разнообразные натурные исследования и лабораторные эксперименты являются основой информации, служащей для выведения гидрогеологических закономерностей, научного предвидения и прогноза. Слова Леонардо да Винчи о том, что «всякий раз, когда имеешь дело с водой, прежде всего обратись к опыту, а потом уже рассуждай», сохраняют свое значение.

Гидрогеология развивается в спорах и борьбе мнений. Однако залогом ее успешного развития служит актуальность и жизненность решаемых ею задач: предметом гидрогеологии является важнейшая часть окружающей среды, т. е. то, что требует настоящего изучения в целях регулирования среды обитания человека.

## ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Воды  
гидрокарбонатные 69  
железистые 92  
кремнистые 85  
лечебные 50  
мышьяковистые 93  
полиметалльные 95  
пресные 28  
промышленные 103, 104  
радоновые 81  
содержащие органику 95  
сульфатные 51, 69  
термоэнергетические 118  
углекислые 61, 73  
хлоридные 53, 73,  
Восполнение подземных вод искусственное (ИППВ) 203  
Время выживаемости 179  
Запасы подземных вод искусственные 203  
Загрязнение 138  
биологическое 140  
локальное 143  
радиоактивное 141  
региональное 152  
тепловое (термальное) 141  
химическое 140  
Защищенность от загрязнения природная 174  
Захоронение промстоков 191  
Зона санитарной охраны 180  
санитарно-оздоровительная 183  
Использование подземных вод в целях водоснабжения 28  
извлечения промышленных компонентов 110  
лечебных 45  
орошения 33  
термоэнергетических 126  
Источники загрязнения 138  
Истощение ресурсов подземных вод 197  
Классификация минеральных лечебных вод 49  
подземных вод 16  
ресурсов подземного тепла 118  
термальных вод 118  
Категории защищенности подземных вод  
защищенные 177  
незащищенные 177  
условно защищенные 177  
Критерии оценки минеральных лечебных вод 48  
Магазинирование 203, 208  
Макродисперсия 162  
Мероприятия для защиты подземных вод от загрязнения 185  
восстановительные 190  
локализационные 189  
профилактические 185  
Методы изучения загрязнения подземных вод 169  
Механизм распространения загрязнений 158  
Микродисперсия  
поперечная 161  
продольная 161  
Мониторинг 224  
Охрана подземных вод аридной зоны 212  
от загрязнения 172  
от истощения 202  
криолитозоны 214  
при захоронении промстоков 191  
Оценка водных ресурсов — см. Ресурсы  
степени защищенности 177  
Перенос конвективный 160  
Проблема управления режимом подземной гидросферы 220  
Прогноз последствий производственной деятельности 222  
Профилактика защитная 222  
Регулирование качественного состояния и ресурсов гидросферы 223  
Резервуары, возможно, перспективные для захоронения промстоков 195  
неперспективные 195  
перспективные 195  
Ресурсы гидрогеотермальные 118, 120, 126  
естественные 19  
петрогеотермальные 118  
подземных вод повышенной минерализации 21  
пресных подземных вод 17, 21  
эксплуатационные 19  
Систематика промышленных вод 107  
Стратегия природоохранных мероприятий 221  
Требования к подземным водам 22  
бактериологические 22  
органолептические 24  
содержание токсичных элементов 23  
Управление режимом подземной гидросферы 223, 224  
Условия фильтрации и загрязнения 179  
Фактор защищенности 177

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение (Н. А. Маринов, Е. В. Пиннекер) . . . . .	5
<b>1. Рациональное использование и охрана водных ресурсов — важнейшая проблема современности (Е. В. Пиннекер) . . . . .</b>	<b>8</b>
Литература . . . . .	15
<b>2. Использование подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения (Н. А. Маринов, А. А. Дзюба, Л. П. Алексеева) . . . . .</b>	<b>15</b>
2.1. Общие сведения . . . . .	—
2.2. Ресурсы пресных и солоноватых подземных вод . . . . .	17
2.3. Требования, предъявляемые к подземным водам хозяйственно-питьевого назначения . . . . .	22
2.4. Некоторые количественные показатели использования подземных вод для водоснабжения . . . . .	28
Литература . . . . .	32
<b>3. Использование подземных вод для орошения (Н. А. Маринов) . . . . .</b>	<b>33</b>
Литература . . . . .	45
<b>4. Использование подземных вод в лечебных целях (И. С. Ломоносов, М. X. Королькова, Н. Г. Петрова) . . . . .</b>	<b>45</b>
4.1. Краткий исторический обзор . . . . .	—
4.2. Основные критерии оценки минеральных лечебных вод . . . . .	47
4.3. Основные бальнеологические группы минеральных вод и закономерности их распространения . . . . .	50
4.4. Состояние использования минеральных лечебных вод здравницами и заводами розлива . . . . .	96
Литература . . . . .	101
<b>5. Использование подземных вод для извлечения промышленных компонентов (В. Н. Борисов, Н. А. Маринов) . . . . .</b>	<b>103</b>
5.1. Понятие о промышленных водах . . . . .	—
5.2. Особенности распространения подземных промышленных вод . . . . .	107
5.3. Состояние и примеры промышленного использования подземных вод . . . . .	110
Литература . . . . .	117
<b>6. Гидрогеотермальные ресурсы и их термоэнергетическое значение (Н. А. Маринов, Е. В. Пиннекер) . . . . .</b>	<b>118</b>
6.1. Классификация ресурсов подземного тепла . . . . .	—
6.2. Основные закономерности распространения гидрогеотермальных ресурсов . . . . .	120
6.3. Использование гидрогеотермальных ресурсов для выработки электроэнергии . . . . .	126
6.4. Использование термальных подземных вод для коммунально-бытовых и промышленных целей . . . . .	131
6.5. Использование термальных подземных вод в сельском хозяйстве . . . . .	135
Литература . . . . .	137
<b>7. Загрязнение подземных вод (А. Е. Орадовская) . . . . .</b>	<b>138</b>
7.1. Источники и виды загрязнения подземных вод . . . . .	—
7.2. Локальное загрязнение подземных вод . . . . .	143
7.3. Региональное загрязнение подземных вод . . . . .	152

7.4. Механизм распространения загрязняющих веществ в водоносных горизонтах . . . . .	158
7.5. Краткие сведения о методах изучения загрязнения подземных вод	169
Литература . . . . .	170
<b>8. Охрана подземных вод от загрязнения (А. Е. Орадовская, Е. В. Пивнекер)</b>	172
8.1. Природная защищенность подземных вод от загрязнения . . . . .	174
8.2. Зона санитарной охраны водозаборов подземных вод . . . . .	180
8.3. Специальные мероприятия для защиты подземных вод от загрязнения	185
8.4. Охрана подземных вод при захоронении промышленных стоков . . . . .	191
Литература . . . . .	196
<b>9. Истощение ресурсов подземных вод и его предотвращение (А. Е. Орадовская, Е. В. Пивнекер)</b>	197
9.1. Истощение ресурсов подземных вод как фактор воздействия на окружающую среду . . . . .	—
9.2. Охрана ресурсов подземных вод от истощения . . . . .	202
9.3. Искусственное пополнение (магазинирование) подземных вод . . . . .	203
Литература . . . . .	211
<b>10. Особенности охраны подземных вод в экстремальных климатических условиях (Е. В. Пивнекер, О. Н. Толстихин)</b>	212
10.1. Об охране подземных вод аридной зоны . . . . .	—
10.2. Охрана подземных вод криолитозоны . . . . .	214
Литература . . . . .	220
<b>11. Проблемы управления режимом подземной гидросферы (Е. В. Пивнекер)</b>	220
11.1. Стратегия природоохранных мероприятий . . . . .	221
11.2. Регулирование качественного состояния и ресурсов подземной гидросферы . . . . .	223
Литература . . . . .	225
Заключение (Е. В. Пивнекер) . . . . .	226
Предметный указатель . . . . .	229

## ОСНОВЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

### Использование и охрана подземных вод

Ответственные редакторы

*Николай Александрович Маринов,*

*Евгений Викторович Пиннекер*

Утверждено к печати Институтом  
земной коры СО АН СССР

Редактор издательства *Е. Г. Макеенко*

Художественный редактор *М. Ф. Глазырина*

Технический редактор *Н. М. Бурлаченко*

Корректоры *С. В. Блинова, А. А. Надгочий*

---

ИБ № 23305

Сдано в набор 11.11.82. Подписано к печати 08.06.83. МН-07537.  
Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага типографская № 2. Обыкновенная  
гарнитура. Усл. печ. л. 20,3. Усл. кр.-отт. 20,3. Уч.-изд. л. 24.  
Тираж 4000 экз. Заказ № 403. Цена 2 р. 70 к.

---

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новоси-  
бирск, 99, Советская, 18.

4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77,  
Станиславского, 25.

3960

20.702



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ