

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

ПОДПИСНАЯ НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ СЕРИЯ

1986/1

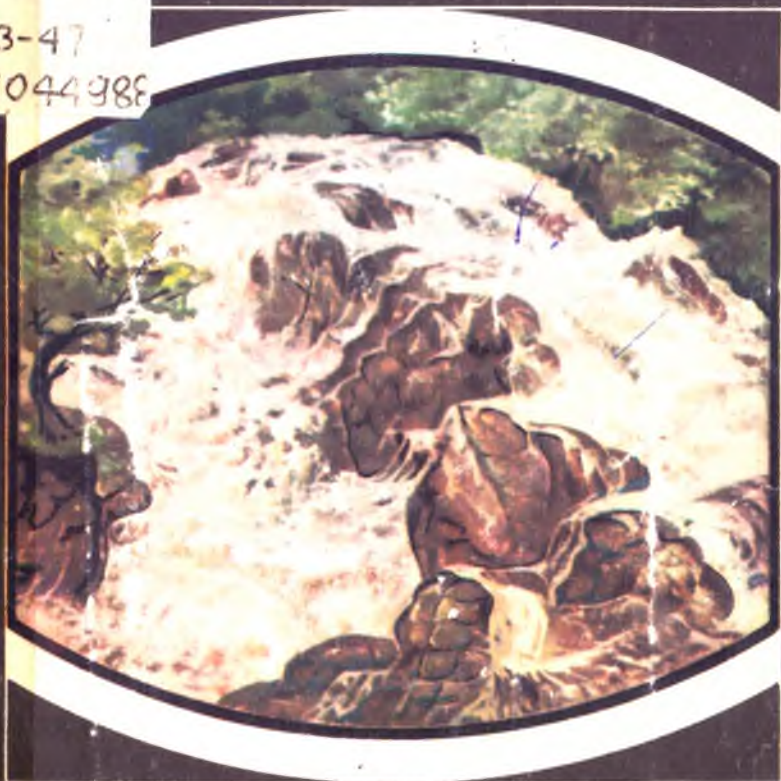
И.С. Зекцер

СКОЛЬКО ВОДЫ ПОД ЗЕМЛЕЙ?

26.3

3-47

A 1044988



ЗНАНИЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ. ТЕХНИКЕ

НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ

Подписная научно-популярная серия

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

1/1986

Издается ежемесячно с 1966 г.

И. С. Зекцер,
доктор геолого-минералогических наук

Сколько воды под землей?

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОБЛЕМЫ ПРЕСНОЙ ВОДЫ 3

САМОЕ ДРАГОЦЕННОЕ ПОЛЕЗНОЕ ИСКОПАЕМОЕ 6

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ НА СЛУЖБЕ НАРОДНОГО ХОЗЯЙСТВА 20

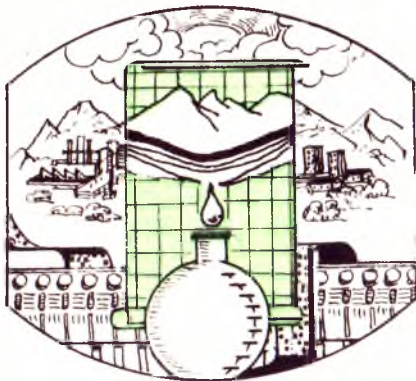
**РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ОБЩЕМ КРУГОВОРОТЕ ВОДЫ,
ВОДНОМ БАЛАНСЕ И ОБЩИХ ВОДНЫХ РЕСУРСАХ 25**

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА 35

**РЕСУРСЫ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
В ПЕРСПЕКТИВЕ 42**

ЛИТЕРАТУРА 47





Дорогому отцу — первому учителю, старейшему гидрогеологу страны посвящает автор эту брошюру.

Игорь Семенович ЗЕКЦЕР — доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом ресурсов подземных вод и проблем подземного стока Института водных проблем АН СССР. Автор более 110 научных работ. Большое внимание уделяет изучению и количественной оценке ресурсов подземных вод, взаимосвязи подземных и поверхностных вод, подземного водообмена суши и моря. За работу «Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения» ему присуждена премия Академии наук СССР им. академика Ф. П. Саваренского. Председатель Комиссии ресурсов подземных вод Научного совета АН СССР по инженерной геологии и гидрогеологии, лектор общества «Знание».

Проблема пресной воды

В течение тысячелетий у людей складывалась представление о питьевой воде как о веществе жизненно необходимом, но никогда не иссякающем, вечном. Однако с ростом народонаселения нашей планеты, с развитием промышленности и сельского хозяйства потребность в пресной воде резко возросла, и сейчас ее нехватка ощущается во многих районах. Недостаток в пресной воде отмечается на территории, составляющей около 60% всей площади суши Земли. Во многих районах Земли водный фактор начинает сдерживать развитие промышленности и сельского хозяйства.

В чем причина нехватки пресной воды? В одних районах это объясняется природно-климатическими

условиями (жара, засуха, редкое выпадение осадков, отсутствие крупных водоисточников), в других — интенсивным, а часто и нерациональным использованием воды в промышленных целях и, что особенно важно подчеркнуть, прогрессирующим загрязнением водных ресурсов отходами промышленного и сельскохозяйственного производства.

Большое количество воды требуется для промышленного производства и выращивания сельскохозяйственных культур. Так, если человеку требуется на питьевые и хозяйственные нужды около 300—400 л воды в сутки, то на производство 1 т сахара расходуются 100 тыс. л, стали — 150 тыс., капрона — 500 тыс. л. Для выращивания 1 кг растительной пищи необходимо в среднем 2000 л во-

ды. Ориентировочные прогнозы показывают, что к 2000 году общая потребность в воде в мире возрастет для коммунального водоснабжения в 2 раза, для водоснабжения промышленности — в 3 раза, сельского хозяйства — в 1,5 раза.

Ученые, специалисты разного профиля, общественные деятели, журналисты высказывают серьезную озабоченность нехваткой пресной воды. «Пресной воды, прежде широко распространенного в большинстве стран мира вида природных богатств, в ближайшие годы будет становиться все меньше», — считают американские экологи, авторы исследования «Окружающая среда в 2000 году». «Надвигается угрожающий кризис в снабжении питьевой водой!» — предупреждает Фрейбургский институт экологии в своем исследовании о бедственном положении с водой в ФРГ. «Сотни региональных проблем с водой, — констатирует американский журнал «Юнайтед Стейтс ньюс энд Уорлд рипорт», — перерастают в общенациональный кризис».

По данным Всемирной организации здравоохранения, примерно 1,2 миллиарда человек страдают от нехватки питьевой воды. Особую озабоченность вызывают факты ухудшения гигиенических показателей питьевой воды, что отрицательно сказывается на состоянии здоровья значительных по численности групп населения в ряде развивающихся и капиталистических государств и требует поэтому срочных и решительных мер для исправления создавшегося положения. Около 80% всех случаев заболеваний в развивающихся странах связано с употреблением воды, не отвечающей санитарной

норме. Мировая общественность заговорила о «водном голоде» планеты, о надвигающемся «водном кризисе». Хорошая вода стала предметом экспорта. Например, Гонконг получает воду по специальным трубопроводам из Китая, а в засушливые годы вода доставляется сюда танкерами. В некоторых странах Европы рассматриваются проекты закупки пресной воды.

Проблема воды стала международной. Под эгидой ЮНЕСКО с 1965 по 1974 г. проводилось международное гидрологическое десятилетие. Изучались водные ресурсы мира для более рационального их использования промышленностью, сельским хозяйством и людьми. Эти исследования продолжают и сейчас. В соответствии с Международной гидрологической программой, принятой ЮНЕСКО, ученые и специалисты более ста стран мира объединяют свои усилия в изучении водных ресурсов, разработке научных рекомендаций по их рациональному использованию, охране от загрязнения и истощения, созданию теории и методологии управления водными ресурсами.

Учитывая остроту проблемы питьевой воды, XXXV сессия Генеральной Ассамблеи ООН в ноябре 1980 г. провозгласила 80-е годы «Международным десятилетием питьевого водоснабжения и санитарии», определив основные направления научной деятельности в этой области.

Говоря о проблеме нехватки воды, уместно подчеркнуть, что общество уже осознало важное значение водного фактора. Во многих случаях наличие и возможности использования водных ресурсов определяет размещение

производительных сил. Еще академик В. И. Вернадский, отметив исключительную роль воды в жизни общества, писал: «Природная вода охватывает и создает всю жизнь человека. Едва ли есть другое природное тело, которое бы до такой степени определило его общественный уклад, быт, существование».

Как обстоит дело с водными ресурсами у нас в стране? Советский Союз занимает первое место в мире по водным ресурсам, которые оцениваются суммарным речным стоком, то есть суммарным расходом всех рек. При оценке обеспеченности водой одного квадратного километра площади Советский Союз оказывается на седьмом месте. Если же принять во внимание чрезвычайно неравномерное распределение водных ресурсов на территории нашей страны, а также то обстоятельство, что 60—80% речных вод в короткие периоды паводков сбрасываются «бесполезно» в моря, совершенно очевидно, что проблема пресной воды становится актуальной и для некоторых районов нашей страны. Охрана, научно обоснованное рациональное использование водных ресурсов, сохранение в чистоте воды — обязанность нашего государства, четко сформулированная в статье 18 Конституции СССР. Вот почему перед гидрологами, гидрогеологами и специалистами водного хозяйства стоит задача создания генеральных схем комплексного использования и охраны водных ресурсов страны в целом и отдельных районов и речных бассейнов на ближайшее и далекое будущее. Немаловажная роль в решении этой проблемы приходится на долю подземных вод.

Вопросам изучения подземных вод и их практического использования в нашей стране уделяется большое внимание. Издана многочисленная специальная литература по этим вопросам. Здесь достаточно упомянуть лишь 45-томную монографию «Гидрогеология СССР» и шеститомный труд «Основы гидрогеологии», в которых изложены закономерности формирования и распространения различных типов подземных вод в разнообразных природных условиях, описаны основные методы их изучения, оценки запасов, рационального использования и охраны.

Автор настоящей брошюры поставил перед собой цель в популярной и доступной широкому кругу читателей форме кратко охарактеризовать одну из основных проблем современной гидрологической науки и практики — проблему оценки и использования ресурсов пресных подземных вод. Причиной, побудившей написать эту брошюру, послужило то обстоятельство, что автор, более четверти века занимающийся изучением подземных вод, неоднократно сталкивался с весьма ошибочными представлениями многих людей, в том числе и весьма образованных специалистов в других областях знаний, об этой важной составной части нашего природного национального богатства.

При подготовке этой работы автор широко использовал многочисленные опубликованные работы советских и зарубежных ученых, собственные научные работы, в том числе опубликованные совместно с профессорами В. А. Всеволожским, Л. С. Язвиным, кандидатами геолого-минералогических наук Р. Г. Джамаловым, И. Ф. Фиделли.

Самое драгоценное полезное ископаемое

В 1931 г., выступая на Всесоюзном гидрогеологическом съезде, президент Академии наук СССР академик А. П. Карпинский говорил: «Вода — это не просто минеральное сырье, это не только средство для развития сельского хозяйства, вода — это действительный проводник культуры, это та живая кровь, которая создает жизнь там, где ее не было».

В отличие от других полезных ископаемых, подземные воды имеют ряд специфических особенностей, которые необходимо учитывать при оценке их запасов и определении перспектив их использования в народном хозяйстве. Главная особенность подземных вод — их возобновляемость в процессе общего круговорота влаги, что коренным образом отличает подземные воды от всех других полезных ископаемых. Кроме того, и это очень важно, при эксплуатации подземных вод происходит не только их расходование, но во многих случаях и дополнительное формирование, вызванное усилением питания подземных вод поверхностными водами и водами других отложений, а также за счет уменьшения испарения с уровня грунтовых вод. Другая существенная особенность подземных вод — их подвижность и тесная взаимосвязь с окружающей средой. Подземные воды, с одной стороны, находятся в постоянном и тесном взаимодействии с водовмещающими горными породами, а с другой — они связаны с поверхностными водотоками, водоемами, морями, ландшафтами, растительностью. Но эта особенность подземных вод —

их связь с окружающей средой — будет нами рассмотрена ниже. Здесь же отметим, что подземные воды, составляя лишь 0,27% объема всей гидросферы, занимают значительное место в обеспечении потребностей человека в воде. Это драгоценное полезное ископаемое является предметом всесторонних и детальных изысканий и обобщений.

Некоторые понятия и определения

Прежде всего напомним, что подземные воды находятся в основном в толще горных пород верхней части земной коры. В зависимости от характера пустот вмещающих пород подземные воды делятся на поровые — в песках, галечниках и других осадочных и обломочных породах, трещинные — в скальных и плотносцементированных породах (гранитах, песчаниках), разбитых трещинами, и карстовые — в растворимых породах (известняках, доломитах, гипсах и др.). Слои горных пород, насыщенные водой, образуют водоносные горизонты. Несколько этажно расположенных и тесно взаимосвязанных между собой водоносных горизонтов называют водоносным комплексом. Относительно водонепроницаемые слои (глины, плотные суглинки, нетрещиноватые сцементированные породы) получили названия водоупоров.

А что такое запасы подземных вод?

Для обозначения количества подземной воды существует ряд классификаций, в большинстве из них различают понятия «запасы» и «ресурсы». Понятие «ресурсы» было введено в гидро-

геологию академиком Ф. П. Саваренским. Необходимость введения этого понятия для подземных вод он обосновал тем, что подземные воды не обладают постоянными запасами как прочие полезные ископаемые, так как они непрерывно возобновляются в процессе общего круговорота воды. При использовании подземных вод часто приходится ориентироваться не только и не столько на тот объем, который занимают подземные воды в данном бассейне или водоносном слое, а на приток подземных вод. Поэтому Ф. П. Саваренский считал, что правильнее говорить не о «запасах» подземных вод, а об их «ресурсах», понимая под этим термином их поступление (питание) и расходование и оставляя за термином «запасы» лишь то количество воды, которое находится в данном бассейне (или водоносном слое) вне зависимости от его емкости. Емкость водоносного горизонта и запасы подземных вод в нем могут быть невелики, но производительность данного горизонта может быть значительной, если он обеспечен в своем питании. И наоборот, бассейн подземных вод может обладать значительными размерами, но ежегодный приход воды в его баланс может оказаться небольшим.

Отметим еще одну важную особенность подземных вод, связанную с оценкой перспектив их использования. Она заключается в том, что возможность отбора подземных вод зависит не только от количества воды, находящейся в пласте и поступающей в пласт в естественных условиях, но и от фильтрационных свойств водовмещающих пород, определяющих сопротивление движению подзем-

ных вод к водозаборным сооружениям. Поэтому особенности подземных вод, отличающие их от других полезных ископаемых, определили необходимость выделения нескольких понятий, характеризующих: а) количество воды, находящейся в водоносном горизонте; б) количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных и нарушенных условиях; в) количество воды, которое может быть отобрано рациональными водозаборами для народного хозяйства.

Таким образом, если при оценке перспектив использования твердых полезных ископаемых, нефти и газа достаточно знать только их запасы, то для подземных вод этого недостаточно для определения возможности их рациональной эксплуатации.

Обычно выделяют естественные (синонимы — статические, вековые, геологические или емкостные) запасы подземных вод, характеризующие в объемных единицах общее количество воды в водоносном пласте. При оценке запасов подземных вод напорных водоносных горизонтов выделяют «упругие запасы» — количество воды, высвобождающееся при вскрытии водоносного пласта и снижении пластового давления в нем при откачке или самоизливе за счет объемного расширения воды и уменьшения порового пространства самого пласта. Эти запасы проявляются с момента вскрытия водоносного пласта до стабилизации воронки депрессии и перехода на стационарный режим эксплуатации.

В практике гидрогеологических исследований производят оценку естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод. Есте-

венные ресурсы (синоним — динамические запасы) характеризуют величину питания подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, поглощения речного стока и перетекания из других водоносных горизонтов, суммарно выраженную величиной расхода потока или толщиной слоя воды, поступающего на уровень подземных вод. Таким образом, естественные ресурсы являются показателем восполнения подземных вод, отражая их основную особенность как возобновляемого полезного ископаемого. Среднемноголетняя величина питания подземных вод за вычетом испарения равна величине подземного стока, поэтому при региональных оценках естественные ресурсы подземных вод часто выражаются среднегодовыми и минимальными значениями модулей подземного стока (в литрах в секунду с 1 км²).

Эксплуатационные запасы (ресурсы) обозначают количество воды, которое может добываться в единицу времени из водоносного горизонта рациональным в технико-экономическом отношении водозабором при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям в течение всего расчетного периода эксплуатации. Таким образом, эксплуатационные запасы (ресурсы) являются одним из основных критериев возможности и целесообразности использования подземных вод для различных целей. При этом по сложившейся традиции при региональных оценках обычно пользуются термином «эксплуатационные ресурсы», а при оценках для водоснабжения конкретных объектов — «эксплуатационные

запасы». При оценке эксплуатационных запасов (ресурсов) учитывается возможность использования естественных, в том числе упругих запасов, естественных ресурсов, а также привлекаемых (дополнительных) ресурсов, образующихся непосредственно при эксплуатации водозаборов (привлечение поверхностных вод, подземных вод «непродуктивных» горизонтов и т. п.). Важным источником формирования эксплуатационных запасов могут служить искусственные ресурсы, создаваемые за счет погружения поверхностных вод в природные подземные емкости с помощью специальных сооружений или образующихся в зоне влияния водохранилищ, на орошаемых массивах, вдоль каналов и т. п. за счет дополнительного питания подземных вод из поверхностных водисточников.

Соотношение различных генетических составляющих эксплуатационных ресурсов подземных вод легко представить себе, если рассмотреть следующее наиболее общее уравнение баланса подземных вод эксплуатационного водозабора:

$$Q_3 = Q_e + \frac{W}{\Delta t} + \Delta Q,$$

где Q_3 — дебит эксплуатационного водозабора; Q_e — естественные ресурсы подземных вод; W — запас воды в водоносном пласте, срабатываемый при эксплуатации (т. е. сработка естественных запасов — осушение пласта в пределах воронки депрессии в случае безнапорного потока или сработка упругих запасов в случае напорного потока); Δt — расчетный срок эксплуатации водозабора; ΔQ — суммарные допол-

нительные ресурсы, привлекаемые в процессе эксплуатации.

При стабилизации воронки депрессии или неограниченном сроке эксплуатации ($\Delta t \rightarrow \infty$) второй член приведенного уравнения стремится к нулю. При этом дебит водозабора определяется расходом подземного потока, обеспеченного питанием и дополнительным притоком воды ΔQ (если имеются соответствующие для этого условия).

В первый период работы водозабора эксплуатационные ресурсы будут больше естественных за счет сработки естественных запасов подземных вод, включающих емкостные запасы и упругие запасы подземных вод. При неограниченном сроке эксплуатации ($\Delta t \rightarrow \infty$) эксплуатационные ресурсы по величине будут приближаться к естественным ресурсам (при $\Delta Q = 0$).

Таким образом, естественные ресурсы подземных вод представляют собой тот верхний предел, который определяет питание постоянно действующих водозаборов с неограниченным сроком эксплуатации (за исключением водозаборов, дебиты которых формируются за счет дополнительных запасов, привлекаемых в процессе эксплуатации).

Следует, конечно, иметь в виду, что в процессе эксплуатации происходит перестройка баланса водозабора, вызванная изменением генетических составляющих эксплуатационных ресурсов. Развитие депрессии в водоносном пласте при откачке может вызвать приток воды из рек, уменьшить испарение с поверхности грунтовых вод, вызвать или усилить перетекание воды из выше- и нижерасположенных водоносных

горизонтов. Поэтому роль естественных ресурсов подземных вод как одного из генетических компонентов эксплуатационных ресурсов является различной на разных стадиях работы водозабора.

Как изучают ресурсы и запасы подземных вод?

Как уже видно из предыдущих глав, одной из основных задач современной гидрогеологии является изучение ресурсов подземных вод и закономерностей их формирования и распределения.

Ресурсы пресных подземных вод в нашей стране изучаются в двух основных направлениях: 1) производится разведка и оценка эксплуатационных запасов подземных вод для обеспечения водоснабжения конкретных объектов (городов, предприятий) и 2) дается региональная оценка естественных и эксплуатационных ресурсов для перспективного планирования возможностей использования подземных вод в народном хозяйстве.

Первая задача благодаря работам советских гидрогеологов (М. Е. Альтовский, Н. Н. Биндеман, Ф. М. Бочеввер, Н. А. Плотников, Н. И. Плотников, С. Ш. Мирзаев, Л. С. Язвин и др.) достаточно хорошо разработана в научном-методическом отношении. Исследования по второму направлению начали широко проводиться в последние 20—25 лет. Их развитие было вызвано запросами практики — необходимостью оценить перспективы отдельных крупных территорий и страны в целом с точки зрения обеспеченности ресурсами пресных подземных вод.

Рассмотрим кратко современ-

ное состояние этих исследований по обоим направлениям.

Прежде всего как изучаются запасы подземных вод для водоснабжения конкретных объектов, в первую очередь городов и населенных пунктов? Следует сразу подчеркнуть, что изучение и оценка запасов подземных вод как ценного минерального сырья является составной частью общей геологической службы нашей страны, организованной и возглавляемой Министерством геологии СССР. Вся территория Советского Союза в геологическом отношении «распределена» между отдельными территориальными геологическими управлениями, которые подчиняются или непосредственно Министерству геологии СССР или в некоторых республиках (РСФСР, Украина, Казахстан, Узбекистан) — республиканским министерствам геологии. В каждом геологическом управлении есть гидрогеологическая экспедиция или гидрогеологическая партия, основной задачей которых является разведка и оценка запасов подземных вод для целей водоснабжения. Эти же экспедиции или партии проводят специальные поисково-разведочные гидрогеологические работы (бурят скважины, проводят опытные испытания — откачки из скважин, наливывы и нагнетания воды, наблюдения за изменениями уровня и химического состава воды в разные сезоны года, изучают качество подземных вод) и затем производят расчеты эксплуатационных запасов подземных вод. Объем и методика поисково-разведочных работ, их последовательность, способы расчета запасов подземных вод зависят прежде всего от конкретных гидрогеологических

условий и степени изученности района работ. Затем отчет о выполненных работах с подсчетом запасов подземных вод поступает на рассмотрение в Государственную (ГКЗ СССР) или территориальную (ТКЗ) комиссию по запасам полезных ископаемых. В соответствии с инструкцией ГКЗ эксплуатационные запасы подземных вод по степени их изученности подразделяются на категории, причем выделяются как наиболее изученные категории А и Б, дающие право строить водозаборы подземных вод. Лишь после того как запасы подземных вод будут утверждены в ГКЗ или ТКЗ, разрешается проектирование и строительство водозабора. Такова, в двух словах, организация этих работ.

Следует подчеркнуть, что в директивах партийных съездов, в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года», утвержденном XXVI съездом партии, указывалось на необходимость усиления работ по разведке подземных вод. Эти решения определили интенсивное развитие научных исследований в области выявления и оценки ресурсов подземных вод и повышения эффективности поисково-разведочных работ.

В настоящее время крупные научные исследования по изучению закономерностей движения различных типов подземных вод, миграции химических элементов в подземных водах, по совершенствованию методики поисково-разведочных и опытно-фильтрационных работ и способов оценки эксплуатационных запасов подземных вод в различных природных условиях проводятся в на-

учно-исследовательских институтах Министерства геологии СССР и управления геологии союзных республик, в союзных и республиканских институтах Академии наук, на кафедрах гидрогеологии университетов и вузов страны.

В последние годы достигнуты значительные успехи в этой области гидрогеологических знаний. Накопление и обобщение опыта разведки подземных вод в различных гидрогеологических условиях и анализ данных, полученных при эксплуатации ряда крупных водозаборов, вызвали необходимость разработки ряда теоретических положений динамики подземных вод. Это привело к созданию принципиально новых основ разведки и оценки запасов подземных вод, базирующихся на теории неустановившегося движения, упругого режима фильтрации и перетекания через слабопроницаемые отложения. Большое значение имела разработка представлений о граничных условиях водоносных горизонтов как факторах, определяющих закономерности формирования запасов подземных вод, и принципов схематизации гидрогеологических условий для расчетов запасов. При оценке запасов подземных вод широко применяются методы математического моделирования, которые способствуют повышению их достоверности и рационализации поисково-разведочных и опытно-фильтрационных работ.

Усиление требований к надежности и достоверности оценки запасов подземных вод вызвало необходимость разработки новых научных основ и принципов категоризации эксплуатационных запасов подземных вод с учетом

их изученности и, главное, достоверности. Такие исследования, выполненные во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидрогеологии и инженерной геологии под руководством профессора Л. С. Язвина, позволили обосновать представления о месторождениях подземных вод, усовершенствовать методику поисково-разведочных работ, разработать более обоснованную классификацию эксплуатационных запасов.

В настоящее время понятие о месторождениях подземных вод широко вошло в практику. При этом под «месторождением подземных вод» понимается такая часть площади распространения водоносных горизонтов или комплексов, в пределах которой под влиянием естественных или искусственных факторов создаются наиболее благоприятные по сравнению с окружающей территорией условия для отбора подземных вод в количестве, достаточном для целесообразного их использования в народном хозяйстве.

В СССР для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения и орошения земель разведано более 10 000 месторождений пресных и солоноватых подземных вод, эксплуатационные запасы которых утверждены в Государственной или территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых.

Разработанные советскими учеными методы разведки и оценки запасов подземных вод широко внедрены в практику гидрогеологических исследований, что позволило успешно решить проблему водоснабжения ряда крупных городов страны. За разработку научных основ и методики разведки подземных вод группа гидрогеоло-

гов была удостоена Государственной премии СССР.

Теперь коротко рассмотрим состояние региональных исследований ресурсов подземных вод.

В Советском Союзе впервые в мировой практике были выполнены крупные исследования по региональной оценке естественных и прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод. Они были начаты в конце 50-х годов в связи с конкретными запросами практики — необходимостью дать количественную оценку перспектив использования подземных вод для обоснования Схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР. В результате совместных усилий гидрогеологов и гидрологов ряда организаций страны в короткий срок была выполнена региональная количественная оценка естественных ресурсов пресных подземных вод территории страны, завершившаяся изданием комплекса карт подземного стока СССР и соответствующей монографии. Впервые были получены величины естественных ресурсов для территории СССР и крупных его регионов, выявлены основные закономерности их формирования в зависимости от физико-географических и геолого-гидрогеологических условий, установлены пространственно-временные особенности изменений удельных величин и коэффициентов, характеризующих подземный сток. Разработанная советскими учеными методика региональной оценки подземного стока и естественных ресурсов подземных вод дает возможность объективно и экономически эффективно производить их расчеты путем анализа и обработки уже имеющихся гидрологических и гидрогеологических ма-

териалов без проведения специальных разведочных работ.

На опубликованных картах подземного стока территории СССР отражены среднемноголетние модули подземного стока, характеризующие расход подземного стока с 1 км² площади, коэффициенты подземного стока, показывающие отношение величин подземного стока к атмосферным осадкам, и коэффициенты подземного питания рек, отражающие долю подземного от общего речного стока. Кроме того, на картах показаны природные условия и факторы, определяющие закономерности формирования естественных ресурсов (состав и стратиграфическая принадлежность водовмещающих пород, районы развития карста, распространение линз пресных вод, участки поглощения поверхностных вод и др.).

Исходя из принципа единства природных вод, карты подземного стока позволяют решать следующие важные практические задачи, связанные с комплексным использованием и охраной водных ресурсов на территории СССР:

определять подземный сток и естественные ресурсы пресных подземных вод для оценки водообеспеченности отдельных районов страны;

определять величину подземного стока в реки для характеристики подземной составляющей речного стока как наиболее устойчивой части ресурсов поверхностных вод, а также для прогноза изменений речного стока и экологической обстановки под влиянием интенсивного отбора подземных вод;

определять величину питания (восполнения) подземных вод для региональной оценки их эксплуатационных ресурсов при составле-

нии водохозяйственных балансов экономических районов и природно-территориальных комплексов; определять величину подземного стока как элемента водного баланса территории страны и отдельных ее районов при перспективном планировании комплексного использования и охраны водных ресурсов.

Опыт региональной оценки и картирования подземного стока в СССР получил международное признание. В соответствии с Международной гидрологической программой, принятой ЮНЕСКО, в период 1971—1980 гг. специалистами социалистических стран Европы (НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, СССР и ЧССР) под научно-методическим руководством советских ученых проводились исследования по изучению условий формирования, количественной оценке и картированию подземного стока на территории Центральной и Восточной Европы. Итогом этих работ явились «Карта подземного стока Центральной и Восточной Европы» в масштабе 1:1 500 000 и монография к ней, опубликованные в 1982—1983 гг.

Указанные исследования явились вкладом советских ученых в выполнение Международной гидрологической программы ЮНЕСКО и могут служить примером объединения усилий ученых разных стран в решении важной научной проблемы.

Региональная оценка **эксплуатационных** ресурсов подземных вод сводится к определению величины водоотбора из водоносных горизонтов при условии, что к концу эксплуатации понижение уровня подземных вод не должно превышать проектного значения (заранее установленного на основании

гидрогеологических сведений о параметрах водоносных слоев), а качество воды должно удовлетворять определенным нормативам. При региональной оценке обычно производится подсчет как потенциальных, так и прогнозных эксплуатационных ресурсов. В чем их различие? Потенциальные эксплуатационные ресурсы характеризуются максимально возможным отбором подземных вод из водоносного горизонта, а прогнозные ресурсы показывают возможное использование подземных вод при определенном расположении водопотребителей или с учетом заявленной потребности в воде. При этом региональная оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов проводится либо применительно к условному расположению водозаборов, либо (если это известно) с учетом схемы размещения конкретных водопотребителей и заявленными потребностями в воде.

Советский ученый Н. Н. Биндеман, один из основоположников учения об эксплуатационных запасах подземных вод, предложил проводить их региональную оценку в два этапа. На первом (до выявления конкретных потребителей) оцениваются потенциальные эксплуатационные ресурсы, а также определяются прогнозные эксплуатационные ресурсы применительно к схеме размещения условных водозаборов (например, по равномерной сетке скважин с различными расстояниями между водозаборами). Расчеты прогнозных эксплуатационных ресурсов по равномерной сетке условных водозаборов позволяют охарактеризовать общие возможности использования подземных вод для водоснабжения в том или ином районе,

что необходимо для перспективного планирования развития различных отраслей народного хозяйства и проведения разведочных работ на подземные воды.

На втором этапе региональная оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод проводится с учетом схемы существующего и планируемого водопотребления и заявленных потребностей на перспективу. В результате устанавливается принципиальная возможность использования подземных вод для конкретных потребителей, а также создается основа для планирования поисково-разведочных работ для организации водоснабжения конкретных объектов. Однако нужно еще раз подчеркнуть, что решение о проектировании и строительстве водозаборов на подземные воды принимается не по результатам региональной оценки их естественных или эксплуатационных ресурсов, а только после проведения специальных работ с обязательным утверждением эксплуатационных запасов подземных вод по промышленным категориям в ТКЗ или ГКЗ СССР.

В нашей стране за последние годы накоплен значительный опыт исследований в области региональной оценки эксплуатационных ресурсов подземных вод. Впервые такая оценка была выполнена в начале 60-х годов. В результате была составлена карта модулей эксплуатационных ресурсов подземных вод масштаба 1:5 000 000. Под модулем эксплуатационных ресурсов понимался расход воды (в л/с), который можно получить в среднем с 1 км² площади распространения водоносного горизонта. При данной оценке, по существу, были определены общие прогнозные эксплуатационные ре-

сурсы подземных вод при условии равномерного размещения водозаборов. В связи с малым шагом сетки (расстояние между условными водозаборами было принято равным 5 км) прогнозные ресурсы во многих случаях (главным образом для напорных вод) оказались близкими к потенциальным. В то же время из-за мелкого масштаба картирования практически не учитывались привлекаемые ресурсы подземных вод речных долин. Ресурсы горных районов не оценивались совсем.

В последующие годы по многим артезианским бассейнам страны с учетом нового накопившегося фактического материала были выполнены работы по новой оценке (или переоценке) эксплуатационных запасов подземных вод. При этом по отдельным перспективным районам учитывались потребности в воде конкретных водопотребителей и возможное расположение будущих водозаборов. По степени изученности и достоверности региональные эксплуатационные ресурсы пресных подземных вод таких районов отнесены к категориям С₁ и С₂, а иногда и к промышленным категориям. Таким образом, для большего ряда районов страны выполнены исследования второго этапа региональной оценки ресурсов подземных вод.

Имеющиеся материалы по характеристике ресурсов подземных вод основных гидрогеологических районов позволяют проанализировать основные закономерности их формирования и распределения на территории СССР. В целом закономерности формирования эксплуатационных ресурсов подземных вод определяются соотношением их основных генетических составляющих (соотношением

естественных ресурсов, естественных запасов и привлекаемых ресурсов) и возможностями их использования в различных природных условиях, что в свою очередь зависит от геологических, гидрологических и климатических условий территории.

Территория СССР в целом богата ресурсами пресных и солоноватых подземных вод. Прогнозные эксплуатационные ресурсы этих вод, оцененные только для хорошо изученной части страны (примерно 55% всей территории), превышают 10 тыс. м³/с. Из этой величины на европейскую часть приходится около 45%, на Среднюю Азию и Казахстан — 30%, на Сибирь и Дальний Восток — 25%. Из общего количества эксплуатационных ресурсов немногим более половины (174 км³/год) составляют восполняемые ресурсы, формирующиеся за счет естественных ресурсов и привлечения поверхностного стока. Эта часть эксплуатационных ресурсов может использоваться неограниченно долгое время, если, конечно, исключить опасность загрязнения подземных вод в результате хозяйственной деятельности. Остальная часть эксплуатационных ресурсов (порядка 160 км³/год) определена исходя из возможной сработки естественных запасов подземных вод за 50-летний период эксплуатации.

Наиболее значительные эксплуатационные ресурсы подземных вод сосредоточены в крупных артезианских бассейнах платформенного типа и крупных складчатых областях. Крупные месторождения подземных вод характерны для межгорных впадин и предгорных прогибов, отличающихся благоприятными условиями накопления подземных вод. Модули эксплуа-

тационных ресурсов в этих районах достигают 10 л/с с 1 км² и более, а дебиты отдельных водозаборов превышают несколько кубических метров в секунду (Аралатский, Чуйский, Иссык-Кульский бассейны, Ферганская долина, межгорные впадины Тянь-Шаня и др.). Потребности городского и сельского населения в этих районах полностью обеспечиваются подземными водами, которые в значительной степени используются и могут быть использованы в будущем для орошения.

Благоприятные природные условия накопления подземных вод отмечаются в таких артезианских бассейнах платформ, как Московский, Днепровско-Донецкий, Прибалтийский, Западно-Сибирский и др., где модули эксплуатационных ресурсов составляют от 1—2 до 3—5 л/с с 1 км², а дебиты групповых водозаборов измеряются сотнями литров в секунду, в долинах рек — до 1 м³/с. Большая часть городов и поселков удовлетворяет потребность в хозяйственно-питьевой воде за счет подземных вод.

Самыми неблагоприятными гидрогеологическими условиями характеризуются Балтийский, Украинский и Донецкий кристаллические щиты, некоторые районы Северного и Южного Урала, Сибири, Крайнего Севера, Северо-Востока, Дальнего Востока, Центрального Казахстана и некоторые другие. Здесь модули эксплуатационных ресурсов обычно не превышают 0,1—0,2 л/с, лишь на отдельных более обводненных участках они могут достигать 1—2 л/с. Подземные воды используются здесь в основном для водоснабжения сельского населения и небольших городов.

Наибольшими прогнозными эксплуатационными ресурсами подземных вод обладают РСФСР и Казахстан, далее следуют Узбекистан, Украина, Белоруссия и Киргизия. Относительно бедны ресурсами пресных и слабосоленых подземных вод Молдавия, Туркмения, Литва (см. табл. 3 в главе «Ресурсы и использование подземных вод в перспективе»).

Исследования по региональной оценке естественных и эксплуатационных ресурсов подземных вод нашей страны продолжаются. Они направлены на изучение особенностей формирования ресурсов подземных вод в различных условиях, оценку обеспеченности подземными водами отдельных регионов, определение роли подземных вод в общих водных ресурсах.

Волшебная палочка

Существует много различных методов изучения подземных вод, практически все их даже трудно перечислить. Прежде всего основные фактические данные о подземных водах получают путем бурения скважин и производства специальных опытно-фильтрационных работ (опытные откачки, наливывы и нагнетания, индикаторные и изотопные определения, геофизические и гидрохимические исследования и т. п.). Методы проведения полевых гидрогеологических работ, а также методы схематизации гидрогеологических условий, расчета параметров водоносных горизонтов и запасов подземных вод разработаны достаточно подробно, и им посвящена многочисленная специальная литература как у нас в стране, так и за рубежом. Следует отметить, что при

изучении процессов движения подземных вод и оценке их запасов широко используются методы аналогового и математического моделирования и расчетов на ЭВМ и ЭЦВМ.

В рамках настоящей книги невозможно изложить даже сущность всех применяемых методов изучения подземных вод, и заинтересованному читателю можно рекомендовать учебную и научную литературу, сокращенный список которой приведен в конце книги. Тем не менее автор хотел бы кратко рассказать о двух из множества существующих методов изучения подземных вод. Почему именно об этих двух? Во-первых, потому, что они наименее известны широкому читателю; во-вторых, потому, что они наиболее экзотичны; в-третьих, потому, что один из них является наиболее «древним», а другой наиболее «молодым» методом изучения подземных вод. Первый метод — это использование веточки лозы для определения наличия и направления движения подземной воды, а второй — использование современной космической техники для изучения земных недр.

Итак, «волшебная палочка».

Несколько лет тому назад автор этих строк довелось побывать в Австралии и выступать с лекциями по гидрогеологии. Как-то после лекции мы с местными гидрогеологами заехали на одну из сельскохозяйственных ферм. Сопровождавшие меня специалисты попросили хозяина фермы показать мне свое искусство поиска подземной воды. Он охотно согласился и тут же сорвал с куста веточку с двумя ответвлениями. По-

том зажал оба конца ответвлений в кулак и пошел. Через несколько шагов конец веточки стал резко отклоняться в сторону, именно в ту, куда, как утверждали местные гидрогеологи, течет подземная вода. Дал рогульку мне. Я сделал десяток шагов — никакого эффекта. Снова пошел он — веточка ожила в его руках. Тогда фермер дал один конец ответвления мне, а другой зажал в руке сам, взял меня за свободную руку и мы пошли вместе. Веточка опять отклонилась в том же направлении. Повторили эксперимент. Я старался изо всех сил держать прямо свой конец рогульки — веточка изогнулась и сломалась. Этот случай заставил меня убедиться в том, что обнаружение подземной воды с помощью веточки не фикция и что я, к сожалению, такой способностью не обладаю.

Надо сказать, что поиск воды с помощью «волшебной палочки» — веточки лозы известен с глубокой древности. Рогульки делали из орешника, клена, вяза, ясени, но лучшими считались рогульки из лозы. На Руси людей, которые определяли места закладки колодцев, используя деревянные рогульки, называли лозоходцами. Позднее рогульки и рамки стали делать из камыша и проволоки. В наше время этот метод, несколько модернизированный, получил название «биолокационный». Биолокационный метод в настоящее время достаточно успешно применяется для поисков воды, руды, при геологическом картировании, а также при строительных и архитектурно-реставрационных работах, когда требуется определить места утечек воды из коммуникаций, глубину уровня подземных вод, выявить условия подтоп-



Рис. 1. Так выглядят некоторые приемы, с помощью которых палочка показывает, где скрыта подземная вода (из французской книги XVII века)

ления сооружений. С помощью биолокационного метода производится поиск подземных вод в трещиноватых породах или в слабопроницаемых отложениях типа моренных суглинков. Биолокационный метод позволяет определить направление движения подземных вод в первом от поверхности водоносном горизонте, места перетока грунтовых вод в нижележащие трещиноватые породы, положение и ширину отдельных крупных трещин и трещиноватых зон и направление фильтрации по ним и другие важные гидрогеологические характеристики (рис. 1).

Ясно, что биолокационный ме-

тод основан на реакции человека на наличие в земле воды, руды и других аномальных тел. Но какие силы при этом воздействуют на человека? В чем физический смысл такой реакции, иными словами, на каких физических или биофизических законах основан биолокационный метод?

Достоверного ответа на этот вопрос наука пока не знает. Французский физик Рокар и некоторые советские ученые считают, что в реакции человека, «работающего» с веточкой лозы, с металлической рамкой, то есть применяющего биолокационный метод, проявляется влияние магнитного поля, вызванного фильтрацией воды. Причина вполне вероятная, но окончательная разгадка феномена «волшебной палочки» еще впереди.

Можно ли увидеть подземные воды с космического корабля?

На первый взгляд может показаться невероятным, что из космических высот, по материалам космических фотосъемок, можно проводить изучение такого невидимого объекта, как подземные воды. Однако в последние годы эти материалы находят в гидрогеологии все большее применение. И связано это прежде всего с особенностями получаемого фотоизображения поверхности Земли из космоса. К ним относятся: охват значительных по площади территорий, позволяющий одновременно изучать локальные и региональные гидрогеологические условия земной поверхности; явление «просвечивания» геологических образований, когда под покровом залегающих на поверхности рыхлых отложений на снимках легко раз-

личаются породы другого состава. Технические средства космосъемки позволяют вести фотографирование подстилающей поверхности в различных узких диапазонах видимого спектра (от синего до ближнего инфракрасного), что дает возможность выявить разнообразные гидрогеологические явления и процессы, наиболее четко различимые в том или ином интервале многозональной съемки. Кроме непосредственного фотографирования земной поверхности на черно-белые и цветные пленки разнообразную информацию о подземных водах изучаемой территории можно получить в процессе проведения телевизионной съемки и съемки в инфракрасных лучах, в микроволновом и радиолокационном диапазонах.

Гидрогеологические объекты, и в частности подземные воды, распознаются на снимках при дешифрировании, которое проводится по прямым и косвенным признакам. Прямыми дешифровочными признаками (цветом, тоном, размером и формой) обычно выражаются концентрированные выходы подземных вод на поверхность, болота, солончаки, такыры, карстовые формы, наледи, крупные субмаринные источники в шельфовой зоне. К косвенным индикаторам относятся: рельеф, влажность почвы, растительные сообщества или совокупности растений, геологические образования, находящиеся на одном участке земной поверхности в тесном взаимодействии между собой и с условиями физико-географической среды.

Например, выходам подземных вод на поверхность и низмен-

ным болотам соответствуют темные участки на фотоснимках. Очертания и размеры этих участков свидетельствуют об интенсивности разгрузки подземных вод, приуроченных к различным формам рельефа и определенному типу горных пород, а также о глубине залегания подземных вод. На снимках отчетливо различают древние русла рек, старицы, заброшенные ирригационные сооружения — аккумуляторы подземных вод. Тектонические особенности территории, расшифрованные на снимках, помогают выявить и уточнить местоположение артезианских бассейнов, направление и пути движения подземного потока. Нередко на снимках по характерному смещению пластов горных пород, по вытянутой цепочке выходов подземных вод или линейных скоплений различных видов растительности можно надежно выделить разрывные нарушения, которые характеризуются повышенной трещиноватостью и раздробленностью пород и по которым происходит движение подземных вод.

Одним из наиболее информативных видов космической съемки является инфракрасная съемка, позволяющая получать снимки теплового излучения поверхности земли. С ее помощью можно получать со спутников сведения, которые позволяют судить о температуре земной и водной поверхности, а также об относительной влажности почв и грунтов. Различия в поверхностной температуре изучаемых природных явлений и процессов позволяют по тепловым контрастам выявлять наличие и распространение неглубоких водоносных горизонтов, выходы подземных вод на дневную по-

верхность, очаги их разгрузки на дне рек, озер и в шельфовой зоне морей и океанов, изучать и картировать вулканически активные области. Поскольку температура подземных вод обычно отличается от температуры речных или морских вод, на инфракрасных снимках выходы подземных вод в акваториях прослеживаются по темному фототону перистой формы или в виде «конского хвоста». Снимки таких очагов позволяют наметить на суше участки, где подземные воды можно использовать для хозяйственных целей.

Особенно четко на таких снимках проявляются районы разгрузки глубинных гидротерм. Термальные источники и гейзеры, а также области неглубокой циркуляции термальных вод отчетливо видны на снимках светлыми и серыми участками. Крупные термальные источники прослеживаются по белым пятнам, а участки температурных аномалий, создаваемые неглубоко залегающими водами, — по серому тону различных оттенков.

Инфракрасная съемка приходит на помощь и при изучении зоны мерзлых пород, температурный режим которой нередко определяется гидрогеологическими процессами. Здесь выявляются крупные талики (оттаявшие участки) и наледные образования, влияющие на питание и накопление подземных вод. Из космоса отчетливо прослеживается приуроченность наледей, особенно крупных, к разломам горных пород, поскольку именно по трещинам и поднимаются глубинные воды. Космические наблюдения позволяют составлять карты наледей, следить

за их изменением за ряд лет.

В отличие от обычных аэроснимков, космические снимки более пригодны для исследования региональных закономерностей распространения наледей, выявления их связи с другими природными явлениями.

Учитывая взаимосвязь основных природных явлений и процессов, гидрогеологическое дешифрирование основано на последовательном извлечении с космоснимков полезной информации и составлении серии различных карт и схем.

В этом плане, например, карта генетических типов горных пород может характеризовать фильтрационные и коллекторские свойства отложений. Известно, что пески обладают хорошей проницаемостью в отличие от глин и суглинков, имеющих низкие фильтрационные свойства. Известны и сильно трещиноватые метаморфические породы, речные отложения являются мощными коллекторами подземных вод. Поэтому установление типа горных пород или геофильтрационной среды, границ их распространения и мощности позволит сделать прогнозы не только в отношении проницаемости и емкости последних, но и получить первые ориентировочные сведения о величинах подземного стока и запасах подземных вод. Карта гидрографической сети характеризует возможность дренажа или питания подземных вод и потому может указывать на направление их движения. Таким образом, на картах и схемах, составленных путем дешифрирования аэрокосмических снимков, находят отражение закономерности изменения и пространственного распределения различных при-

родных факторов, позволяющих расшифровать основные условия и особенности формирования и распространения подземных вод.

Следовательно, данные исследований из космоса во многих случаях позволяют определить районы распространения и глубину залегания подземных вод, устанавливать направление их движения, области питания и выхода на поверхность, судить о связи подземных и поверхностных вод, получать представление о возможных запасах подземных вод гидрогеологических структур и решать другие специальные задачи.

Использование космических методов изучения подземных вод наиболее полезно и информативно в слабо изученных районах, когда необходимы принципиальные сведения о геолого-гидрогеологических условиях крупных территорий. Полученная таким путем информация о подземных водах затем служит основой для постановки более детальных поисково-разведочных работ для определения запасов подземных вод и перспектив их практического использования.

Подземные воды на службе народного хозяйства

Как уже отмечалось, в последние десятилетия использование подземных вод для различных нужд народного хозяйства значительно увеличилось. Пресные подземные воды широко используются для коммунально-питьевого водоснабжения населения, ороше-

ния земель и обводнения пастбищ, минеральные воды — в лечебных и бальнеологических целях, промышленные воды — в качестве сырья для извлечения из них различных ценных компонентов: йода, брома, бора, лития и др., термальные воды — как источник тепла и тепловой энергии.

Широкое использование подземных вод связано прежде всего с тем, что пресные подземные воды как источники водоснабжения имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с поверхностными водами: они, как правило, более чистые и качественные по составу, лучше защищены от возможного загрязнения и заражения, меньше подвержены сезонным и многолетним колебаниям и, кроме того, обладают значительно большей равномерностью распределения по территории — часто подземные воды есть там, где поверхностные отсутствуют. Ввод в эксплуатацию водозаборов подземных вод может осуществляться постепенно, по мере роста потребности в воде, в то время как строительство гидротехнических сооружений для использования поверхностных вод требует обычно крупных единовременных капитальных затрат.

Для некоторых стран мира (Саудовская Аравия, Мальта, Дания и др.) подземные воды являются единственным источником водоснабжения. В других странах они являются важнейшей частью общих водных ресурсов. Так, например, в Тунисе доля подземных вод составляет 95% общих водных ресурсов страны, в Бельгии — 83, в Нидерландах, ФРГ, Марокко — 75%.

В странах с аридным и полупустынным климатом подземные воды широко используются для орошения. За счет подземных вод орошается примерно $\frac{1}{3}$ всех земель. Из общей площади орошаемых земель в США за счет подземных вод орошается 45%, в Иране 58, в Алжире 67%, а в Ливии орошаемое земледелие целиком основано на подземных водах.

За последние 25 лет в мире было пробурено более 300 млн. скважин для отбора воды. Только в США в последние годы ежегодно бурится по 800—900 тыс. скважин в год, воды которых используются для хозяйственно-бытовых нужд и для орошения, для технических нужд и непосредственно в промышленном производстве.

Глубина эксплуатационных скважин на воду колеблется в значительных пределах и определяется исключительно местными особенностями гидрогеологических условий. Обычно она составляет 100—200 м, редко достигает 800—1000 м и даже 2000 м (США, Австралия).

В СССР систематическое изучение подземных вод как источника водоснабжения началось только после Великой Октябрьской социалистической революции. Уже в 1918 г. в «Основном законе о лесах» устанавливались меры по защите вод от загрязнения, а изданный за подписью В. И. Ленина в мае декрет «Об учете буровых на воду скважин» положил начало контролю за использованием подземных вод.

Следует подчеркнуть, что Коммунистическая партия и Советское правительство всегда уделяли

большое внимание изучению и освоению водных богатств страны. В 1970 г. Верховным Советом СССР был принят закон «Основы водного законодательства Союза ССР и союзных республик», которым установлен общий порядок водопользования, охраны вод, предупреждения их вредного воздействия, государственного учета и планирования использования вод. В соответствии с этим законом использование пресных подземных вод, не связанное с питьевым и бытовым водоснабжением, как правило, не допускается. И только в районах, где отсутствуют поверхностные водисточники, но имеются достаточные эксплуатационные запасы пресных подземных вод, возможно их использование для других целей по специальному разрешению государственных органов, регулирующих использование и охрану водных ресурсов.

Советский Союз располагает относительно большими ресурсами различных типов подземных вод, используемых в народном хозяйстве, — пресных, минеральных, термальных, промышленных. Наибольшую ценность представляют пресные подземные воды, являющиеся высококачественным источником водоснабжения.

За последние 15—20 лет доля подземных вод в общем балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения населения нашей страны увеличилась с 15 до 70%. В настоящее время городское хозяйственно-питьевое водоснабжение основано преимущественно на подземных водах: 62% городов нашей страны снабжаются исключительно подземными водами, 20% городов используют для водоснабжения подземные и

поверхностные воды совместно.

В настоящее время в нашей стране для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения и орошения земель разведано более 10 000 месторождений пресных и солоноватых подземных вод. Разведанные и утвержденные в Государственной и территориальных комиссиях по запасам полезных ископаемых эксплуатационные запасы подземных вод составляют около 57 км³/год, из них около 60% приходится на запасы так называемых промышленных категорий, которые могут быть приняты для обоснования проектирования и строительства водозаборов. Наибольшими разведанными запасами обладают РСФСР (18 км³/год), Казахстан (11,4 км³/год), Украина (5,4 км³/год) и Узбекистан (5,2 км³/год) (табл. 1).

Современный отбор подземных вод оценивается в целом по СССР в 40 км³/год, что составляет примерно 12% прогнозных эксплуатационных ресурсов и около 70% утвержденных запасов подземных вод. Однако из-за неравномерного распределения эксплуатационных ресурсов подземных вод возможности обеспечения за их счет хозяйственных потребностей в отдельных республиках и экономических районах резко различаются. Так, в настоящее время величина использования подземных вод в среднем по РСФСР, Белоруссии, Казахстану составляет всего 5—7% эксплуатационных ресурсов, в то время как в Грузии, Армении, Азербайджане, Туркмении, Молдавии она достигает 40—60%.

В табл. 1 и 2 приведены сведения об утвержденных запасах подземных вод и их использова-

нии по союзным республикам и наиболее крупным речным бассейнам.

В основном подземные воды используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения. С этой целью отбирается около 24,6 км³/год (62% общего отбора) пресных подземных вод. На подземных водах основано хозяйственно-питьевое водоснабжение большинства городов Советской Прибалтики, Украины, Грузии, Армении, Белоруссии, Таджикистана, центральных районов Российской Федерации и республик Средней Азии. Целиком на подземных водах организовано водоснабжение крупных городов — Минска, Вильнюса, Еревана, Могилева, Витебска, Тбилиси, Воронежа, Ашхабада, Уфы и др. В последние годы увеличился отбор подземных вод в городах Сибири и Дальнего Востока, где подземные воды играют существенную роль в водоснабжении Тюмени, Томска, Барнаула, Красноярска, Хабаровска, Читы и других городов. В этих районах гидрогеологические экспедиции проводят большие поисково-разведочные работы на подземные воды. В городах обычно имеются групповые водозаборы и отдельные скважины, эксплуатацию которых осуществляют городские коммунальные организации, а также многочисленные одиночные скважины на заводах и фабриках, отбирающие подземную воду для технических и хозяйственно-бытовых нужд этих предприятий. В крупных городах имеются системы централизованного водоснабжения.

Значительная доля извлекаемой из недр подземной воды (примерно 10 км³/год, или 25% всего

водоотбора) используется для орошения земель и обводнения пастбищ. Наибольшие отборы воды для орошения фиксируются в Узбекистане, Армении, Азербайджане, Таджикистане. В последние годы выполнены крупные работы по разведке месторождений подземных вод для орошения в Казахстане.

Кроме подземных вод, отбираемых водозаборами для хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения и для орошения, значительное количество подземной воды (около 5,5 км³/год) извлекается из недр земли при разработке месторождений полезных ископаемых и из установок вертикального дренажа. Эта вода почти не используется и практически полностью сбрасывается в поверхностные водотоки.

Таким образом, в настоящее время в нашей стране используется около 35 км³/год подземных вод (без учета водоотлива из шахт и карьеров и вертикального дренажа), что составляет немногим более одной десятой от общих прогнозных эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод. Это позволяет сделать вывод о значительных резервах увеличения отбора и использования подземных вод на различные нужды народного хозяйства.

Следует подчеркнуть, что помимо пресных подземных вод большое практическое значение имеют подземные воды повышенной минерализации — солоноватые (с минерализацией 1—10 г/л) и соленые (с минерализацией 10—35 г/л). Эти воды рассматриваются как важный резерв хозяйственно-питьевого и промышленного водоснабжения, орошения и обводне-

Сведения об утвержденных запасах подземных вод и их использовании по союзным республикам (по данным ВСЕГИНГЕО на 1982 г.), км³/год

Республики	Утвержденные запасы на 1.1.1983 г.	Отбор подземных вод	Использование извлеченных подземных вод			Не используют
			ХПВ	ПТВ	ОРЗ и ОП	
РСФСР	18,0	11,97	7,40	2,82	0,13	1,62
Украинская ССР	5,35	4,90	3,0	0,69	0,55	0,66
Белорусская ССР	1,63	1,20	0,83	0,14	0,01	0,22
Молдавская ССР	0,48	0,25	0,21	0,04	—	—
Эстонская ССР	0,19	0,42	0,16	0,04	—	0,22
Латвийская ССР	0,45	0,19	0,18	0,01	—	—
Литовская ССР	0,47	0,31	0,23	0,08	—	—
Грузинская ССР	2,32	0,97	0,83	0,13	0,01	—
Армянская ССР	3,32	3,04	0,65	0,13	2,23	—
Азербайджанская ССР	2,26	2,37	0,34	0,04	1,99	—
Казахская ССР	11,4	2,51	1,39	0,42	0,59	0,11
Узбекская ССР	5,22	7,16	2,60	0,60	2,13	1,83
Киргизская ССР	3,29	1,80	0,55	0,28	0,94	0,03
Таджикская ССР	2,08	1,99	0,54	0,05	1,11	0,29
Туркменская ССР	0,74	0,56	0,16	0,10	0,20	0,10
Всего по СССР	57,2	39,6	19,1	5,6	9,9	5,1

Примечание: ХПВ — хозяйственно-питьевое водоснабжение,

ПТВ — производственно-техническое водоснабжение,

ОРЗ и ОП — орошение земель и обводнение пастбищ.

Таблица 2

Ресурсы подземных вод и их отбор по основным речным бассейнам (по материалам ВСЕГИНГЕО), км³/год

Речной бассейн	Прогнозные эксплуатационные ресурсы	Утвержденные запасы на 1.1.1983 г.	Отбор подземных вод в 1982 г.
Зап. Двина	4,1	0,46	0,32
Нева	3,1	0,07	0,15
Сев. Двина	7,6	0,04	0,03
Печора	6,3	0,17	0,10
Днестр	1,9	0,90	0,51
Днепр	25,2	4,16	3,32
Дон	14,5	2,94	2,37
Волга	39,7	6,99	4,40
Урал	3,5	0,91	0,45
Кура	8,8	6,88	6,00
Терек	3,6	1,20	0,39
Обь	47,2	3,95	2,06
Енисей	8,5	0,80	0,76
Лена	7,1	0,07	0,19
Амур	12,6	0,71	0,23
Амударья	22,3	2,86	1,29
Сырдарья	7,2	2,79	0,41

ния сельскохозяйственных земель. Они могут использоваться как непосредственно (для орошения, для водопоя некоторых пород овец), так и после их искусственного опреснения. Эксплуатационные ресурсы соленых и солоноватых подземных вод, оцененные только для южных районов СССР на площади 3,6 млн. км², составляют около 30 км³/год, что почти в 1,5 раза превышает ресурсы пресных подземных вод этих же районов (Никитин и др., 1978).

Роль подземных вод в общем круговороте воды, водном балансе и общих водных ресурсах

Круговорот воды как природное явление известен был еще в глубокой древности. Можно вспомнить изречение царя Соломона, который заметил, что «все реки текут в море, но море не переполняется, хотя реки текут постоянно».

В настоящее время под круговоротом воды, который часто называют гидрологическим циклом, понимается сложный непрерывный процесс перемещения воды на Земле, сопровождающийся ее фазовыми превращениями и имеющий более или менее выраженный циклический характер. Круговорот воды связывает воедино все части гидросферы: океан, воды суши, подземные воды, почвенную влагу, атмосферные и речные воды.

Общий круговорот происходит по следующей схеме: вода испаряется с поверхности океана и образует облака, которые перемещаются в глубь континентов, водяные пары в них конденсируют-

ся и выпадают на землю в виде осадков; затем вода по рекам и под землей стекает в океан. В общем круговороте участвует также вода магматического происхождения (так называемая ювенильная вода). Вопрос о роли ювенильных вод в общем водном балансе планеты весьма сложный, он связан с исследованием общей проблемы формирования гидросферы и происхождения воды. Однако большинство исследователей считают, что ежегодное количество ювенильной воды, поступающей из вулканов, горячих источников и глубинных разломов, составляет не более 0,5—1,0 км³, т. е. крайне малую величину в современном водном балансе Мирового океана. Вместе с тем ежегодно некоторое количество воды исключается из общего круговорота — это вода, входящая в состав кристаллической решетки минералов осадочных отложений. Поскольку по мнению большинства исследователей общий объем воды в Мировом океане за последние 500 млн. лет практически не изменился и общее количество воды, участвующее в общем круговороте, остается практически постоянным, можно допустить, что количество ювенильной воды, поступающей из магмы, примерно соответствует количеству воды, исключенному из круговорота в результате процессов осадконакопления.

Все воды земли образуют гидросферу — водную оболочку земного шара. Гидросфера включает воды океанов, рек и озер, полярные и горные ледники, подземные воды, почвенную влагу и пары атмосферы. Для того чтобы представить себе количественное соотношение отдель-

ных составляющих гидросферы, в том числе и подземных вод, целесообразно сопоставить некоторые цифры. Общий объем воды в Мировом океане составляет около 1370 млн. км³. Объем всех поверхностных вод суши составляет порядка 25 млн. км³, т. е. в 55 раз меньше, чем объем воды в Мировом океане. Из этого объема примерно 24 млн. км³ составляет объем воды, содержащейся в ледниках и льдах.

На долю поверхностных вод суши (реки, озера) приходится менее 0,5 млн. км³ воды, величина крайне малая по сравнению с объемом воды в Мировом океане.

Объем воды, содержащейся в недрах Земли, ориентировочно оценивается в 60 млн. км³, в том числе на долю подземных вод зоны интенсивного водообмена, т. е. вод, участвующих в общем круговороте, приходится порядка 4 млн. км³. Запасы подземных вод в верхней 2-километровой толще земной коры составляют примерно 23 млн. км³.

Следует подчеркнуть, что величины объемов воды в различных частях гидросферы не дают полного представления об истинной роли разных составляющих в общем водном балансе. Значительно большее значение для водных ресурсов и водного баланса имеет не общий запас (объем) воды, а ее расход, т. е. та часть воды, которая непрерывно возобновляется в процессе ее общего круговорота.

Место возобновляемых вод в гидрологическом цикле становится очевидным, если рассмотреть наиболее общие уравнения среднесуточного водного баланса. Под водным балансом понимают

количественное выражение круговорота воды и ее звеньев. Эти уравнения имеют вид:

для периферийной части суши, дающей сток в океан,

$$E_p = P_p - R_p - U_m, \quad R_p = X + Y$$

для замкнутых (бессточных) областей $E_a = P_a$,

для Мирового океана

$$E_m = P_m + R_p + U_m,$$

для земного шара

$$E = E_p + E_a + E_m = P_p + P_a + P_m = P,$$

где E — испарение, P — атмосферные осадки, R — речной сток, включающий поверхностную (X) и подземную (Y) составляющие, U_m — подземный сток, направленный с суши в океан, минуя речную сеть. Индексы при буквенных выражениях обозначают: p — периферийная часть суши, a — замкнутые области, m — океан.

Подобные уравнения водного баланса приводятся М. И. Львовичем (1974) и многими другими авторами. Однако принципиально новым элементом в приведенных выше уравнениях является введение в них члена U_m , определяющего величину подземного стока, который формируется на периферической части суши, не дренируется речной сетью и, минуя ее, направлен непосредственно в море.

Анализ приведенных уравнений показывает, что подземные воды являются одним из элементов водного баланса речных бассейнов, отдельных частей суши, морей и океанов, участвуя в гидрологическом цикле, с одной стороны, в виде подземной составляющей речного стока, сформировавшегося за счет дренирования подземных вод, и с другой — в виде подземного стока, направленного с суши в моря (крупные озера) и океаны, минуя речную сеть.

Рассмотрим эти два аспекта роли

подземных вод в круговороте воды, общем водном балансе и общих водных ресурсах более подробно.

В мировой практике известно много способов количественной оценки подземной составляющей речного стока, основанных на анализе кривых его истощения, генетическом расчленении гидрографов рек, изучении режима и баланса подземных вод в естественных условиях, установлении корреляционных связей между уравнениями и расходами подземных и поверхностных вод в различных природных условиях. В последние десятилетия исследования в этом направлении значительно активизировались, что было вызвано необходимостью проведения работ по региональной количественной оценке подземного стока и естественных ресурсов пресных подземных вод.

Методика таких исследований достаточно подробно была разработана советскими учеными, что позволило им, как уже отмечалось выше, впервые в мировой практике выполнить региональную количественную оценку подземного стока в пределах территории всей страны и ее отдельных регионов, установить основные закономерности его формирования и составить комплекс карт подземного стока.

Установлено, что распределение основных количественных характеристик подземного стока по территории регионов отличается резкой неоднородностью и четко выраженной дифференцированностью по основным геологоструктурным элементам и ландшафтно-климатическим зонам. Наиболее общей закономерностью является различный характер распределения параметров подземного стока

в пределах платформенных (равнинных) территорий и горноскладчатых сооружений при диапазоне изменения величин соответственно от менее 0,1 до 6,0—6,8 л/с и от 0,1 до 30—50 л/с · км². На территории СССР более 55% общего объема подземного стока формируется в пределах горноскладчатых областей, около 42% отвечает обширным пространствам плит (Русской, Западно-Сибирской, Туранской) и только 3—4% общей величины подземного стока приходится на долю кристаллических щитов.

Анализ распределения величин подземного стока по основным ландшафтно-климатическим зонам показывает, что более 80% общего объема подземного стока приурочено к избыточно увлажненной и влажной зонам, около 18% стока формируется в зоне недостаточного увлажнения и лишь около 2% — в засушливой зоне.

На территории континентальных платформ характерно закономерное распределение параметров подземного стока в соответствии с общеширотным воздействием климатических факторов. На фоне широтного распределения наиболее резко проявляются местные изменения величин подземного стока, определяемые гидрогеологическим строением разреза зоны интенсивного водообмена и типами геофильтрационной среды. Так, максимальные величины модулей подземного стока характерны для участков интенсивного развития карста и в меньшей степени для районов, где верхняя часть разреза представлена крупнообломочными или песчаными флювиогляционными и конечно-моренными отложениями, а также для речных долин, сложенных хорошо

проницаемыми аллювиальными отложениями. Минимальные значения модулей подземного стока отмечены для районов, где зона интенсивного водообмена представлена суглинистыми и глинистыми породами, и для относительно пониженных слаборасчлененных территорий, где развитые сверху слабопроницаемые породы затрудняют инфильтрацию атмосферных осадков.

В горноскладчатых областях распределение величин подземного стока определяется главным образом резкими изменениями типа геофильтрационных сред и органографическим увеличением осадков с высотой местности. Так, высокие значения модулей подземного стока на Кавказе, Карпатах, Балканах обусловлены широким распространением проницаемых трещиноватых пород в собственно горноскладчатых сооружениях и высокопроницаемых крупнообломочных отложений в межгорных впадинах, что в сочетании с глубокой эрозионной расчлененностью рельефа и значительным количеством атмосферных осадков определяет благоприятные условия питания подземных вод.

Роль подземных вод в формировании водного баланса и водных ресурсов регионов количественно характеризуется значениями коэффициентов подземного стока и коэффициентов подземного питания рек.

Коэффициент подземного стока выражает соотношение подземного стока и атмосферных осадков. Он показывает, какая часть атмосферных осадков (обычно в процентах) расходуется на питание подземных вод. Этот коэффициент в пределах страны составляет в среднем 9% и изменяется от 1%

и менее до 50% и более. Основные особенности распределения коэффициентов подземного стока определяются влиянием сложного комплекса природных факторов, первостепенное значение среди которых имеют соотношение атмосферных осадков и испарения, состав и мощность пород зоны аэрации. Для равнинной территории СССР как общая закономерность прослеживается широтная зональность — уменьшение подземного стока с северо-запада на юго-восток с 10—20% в зоне избыточного увлажнения до 1% и менее в степных и полупустынных районах (рис. 2).

Общая закономерность распределения коэффициентов подземного стока на территории Союза нарушается в ряде районов аномалиями — главным образом увеличением. В первую очередь это наблюдается на возвышенностях, что обусловлено обилием выпадающих здесь атмосферных осадков и улучшением условий их инфильтрации (Валдайская, Средне-Русская, Приволжская возвышенности, Енисейский кряж, Северо-Байкальское нагорье и др.). В горных районах одновременно с увеличением количества атмосферных осадков с высотой местности возрастают (до определенных пределов) и коэффициенты подземного стока. Так, в Карпатах они возрастают от 5 до 10—15%, на Урале — от 10 до 20—40, на Алтае — от 5—10 до 15—20%. На Кавказе и в горах Средней Азии увеличение коэффициентов подземного стока (до 25—35%) наиболее заметно.

В районах развития карста также высоки значения коэффициентов подземного стока (до 30—40% и более на Силурийском плато, на Онего-Северо-Двинском между-

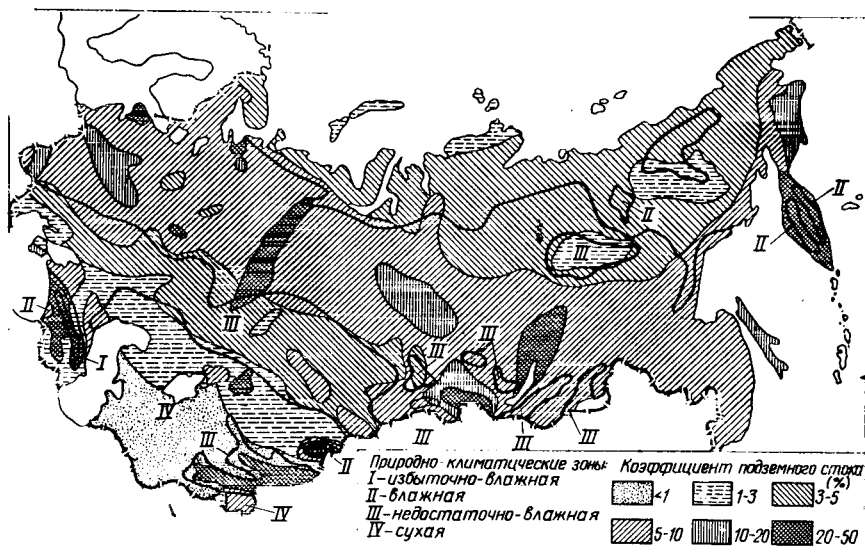


Рис. 2. Схематическая карта связи подземного стока с природно-климатическими зонами территории СССР

речье, Кулойском плато, Тимане).

Роль многолетней мерзлоты в распределении коэффициентов подземного стока очень заметна. На огромных пространствах Сибири и северо-востока СССР, где выпадает до 300—400, а местами до 500—600 мм атмосферных осадков, коэффициенты подземного стока весьма незначительны — 5%, и только на юге Сибири (Северное Прибайкалье и отроги Верхоянского хребта), где многолетняя мерзлота приобретает островной характер, а годовое количество осадков увеличивается до 800 мм, коэффициенты подземного стока достигают 15—20%.

Важной характеристикой являются значения коэффициентов подземного питания рек, которые показывают долю подземного сто-

ка в общем речном стоке и позволяют определить, таким образом, соотношение ресурсов подземных вод и поверхностных вод во многих районах гумидной зоны. Значения этих соотношений в наиболее крупных районах страны приведены в табл. 3.

В целом для территории СССР значение коэффициента подземного питания рек составляет 24%, изменяясь от 5—10% в районах с относительно небольшой мощностью зоны интенсивного водообмена, слабо расчлененным рельефом и благоприятными условиями образования поверхностного стока до 40—50% и более в районах, сложенных весьма водообильными породами, интенсивно дренируемыми реками.

Анализ соотношений подземного

Распределение водных ресурсов в наиболее крупных районах СССР

Район	Площадь, тыс. км ²	Ресурсы, км ³ /год		
		поверхностных вод (общий речной сток)	подземных вод (под- земный сток)	соотношение подземных и поверхност- ных вод
1	2	3	4	5
Русская плита	4060	719	170,0	0,24
Кавказ	264	92	45,7	0,50
Уральская гидрогеологиче- ская складчатая область	462	79	25,4	0,32
Западно-Сибирская артези- анская область	2919	583	136,9	0,23
Сибирская плита	3500	738	108,9	0,15
Центрально-Казахстанская гидрогеологическая склад- чатая область	938	67	65	0,16
Верхояно-Чукотская гидро- геологическая область	2420	538	65	0,12

го стока и общего речного стока приобрел большое практическое значение в проблеме комплексного использования водных ресурсов, в частности при составлении водохозяйственных балансов отдельных регионов и оценке влияния эксплуатации подземных вод на речной сток.

Характеристика изменчивости коэффициентов подземного стока и коэффициентов подземного питания рек — это и есть количественная оценка роли подземных вод в общих водных ресурсах и водном балансе страны.

В последние годы проводятся значительные исследования по изучению роли подземных вод в водном и солевом балансе морей и крупных озер. Разгрузка в море

подземных вод, формирующихся на суше, происходит либо в виде субмаринных источников (т. е. родников, которые выходят непосредственно в море, «под водой»), приуроченных обычно к тектоническим нарушениям или к участкам развития интенсивно трещиноватых и закарстованных пород, либо путем перетекания через слабопроницаемую кровлю водоносных горизонтов и морские донные осадки. При этом под подземным стоком в моря понимается поступление в моря и океаны тех подземных вод, которые сформировались на суше и разгрузились в море, минуя речную сеть. Нужно, однако, помнить, что еще около трети расхода воды в реках (для территории СССР — четвертой

части), впадающих в моря, также имеет подземное происхождение, так как формируется за счет дренирования подземных вод суши. Подземный сток в моря осуществляется практически постоянно и повсеместно за исключением ряда районов Арктики и особенно Антарктиды, где развиты в основном многолетнемерзлые породы.

При количественных оценках подземного стока с суши в моря принципиально важно использовать независимые методы расчета, что дает возможность количественно охарактеризовать подземный сток и включить его в водный баланс в качестве самостоятельного члена.

Специальными расчетами установлено, что общая величина подземного стока в Мировой океан составляет около $2400 \text{ км}^3/\text{год}$, в том числе подземный сток с континентов — $1485 \text{ км}^3/\text{год}$, а с крупных островов — $915 \text{ км}^3/\text{год}$. Подземный сток непосредственно в моря, минуя речную сеть, по отношению к притоку вод обычно составляет всего несколько процентов. Однако роль ионного подземного стока, или, иными словами, выноса растворенных в подземных водах солей, в солевом балансе морей, особенно внутренних, значительна и достигает десятков процентов по сравнению с привносом солей реками. Общая величина выноса солей подземными водами в Мировой океан достигает 1040 млн. т/год , что составляет 42% поступления солей с речным стоком (без учета стока с крупных островов).

В самое последнее время в Институте водных проблем АН СССР выполнена оценка подземного стока в моря и океаны со всех континентов земного шара. Обобщен-

ные результаты этой оценки представлены в табл. 4, где приведены как удельные величины водного и ионного стоков в океаны (в литрах в секунду с 1 км^2 водосборной площади и в тысячах кубических метров на 1 км береговой линии), так и общие величины стока подземных вод с различных континентов в моря и океаны.

Анализ условий формирования подземного стока в Мировой океан в пределах различных континентов показывает, что они зависят от сложного сочетания различных природных факторов, основные из которых — климат, рельеф и структурно-гидрогеологические особенности прибрежных территорий. Распределение удельных величин подземного стока в Мировой океан в глобальном масштабе подчиняется широтной физико-географической зональности. Они постепенно увеличиваются от субарктических районов до умеренной зоны, резко возрастают во влажных субтропиках и тропиках и снижаются в полуаридных и аридных районах (рис. 3). Местные орографические, геологоструктурные, гидрогеологические и гидрогеодинамические особенности прибрежных водосборных площадей усложняют эту общую картину распределения величин стока и иногда могут вызвать значительные их отклонения от характерных для данной широтной зоны средних величин.

Хотелось бы особо отметить, учитывая тему нашего разговора в этой брошюре, что помимо изучения роли подземных вод в водном и солевом балансе отдельных морей и Мирового океана в целом, а также в общем круговороте воды исследования подземного стока в моря имеют существенное практи-

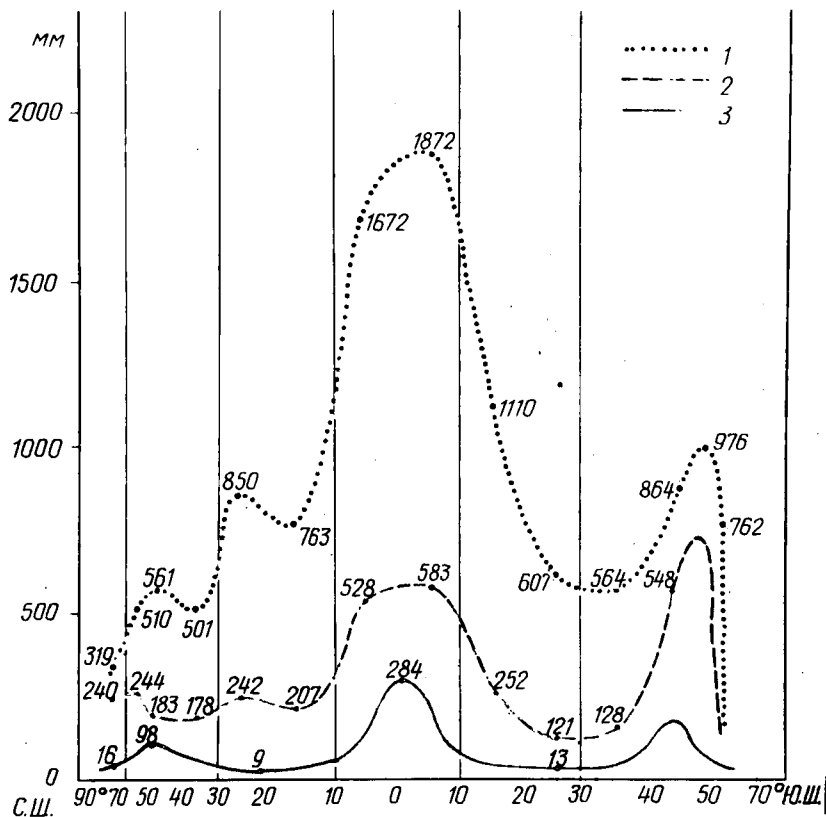
Подземный сток в океаны с континентов и крупных островов

Океаны	Континенты и крупные острова	Водный сток			Ионный сток		
		Модуль, л/с-км ²	Расход, тыс. м ³ /сут-км	Общая величина, км ³ /год	Модуль, т/год-км ²	Расход, тыс. т/год-км	Общая величина, млн. т/год
1	2	3	4	5	6	7	8
Тихий	С территории Австралии	1,1	4,6	7,1	24,9	1,2	5,0
	С территории Азии	4,8	27,2	254,3	98,2	6,5	165,2
	С территории Северной Америки	5,4	21,9	124,6	50,1	2,4	36,7
	С территории Южной Америки	11,5	58,7	199,6	64,1	3,8	35,5
	С территории крупных островов	13,0	51,0	714,7	159,8	7,3	278,1
Всего				1300,3			
Атлантический	С территории Африки	3,9	40,4	208,7	99,9	12,0	169,2
	С территории Европы	4,2	15,4	71,2	47,8	2,0	25,8
	С территории Северной Америки	4,6	31,9	219,4	74,6	6,0	112,2
	С территории Южной Америки	3,0	28,2	185,3	40,2	4,3	77,7
	С территории крупных островов	4,4	12,0	77,7	76,0	2,4	42,9
Средиземное море	С территории Африки	0,4	3,1	5,1	24,4	2,2	9,9
	С территории Азии	2,4	7,0	8,3	110,3	3,6	11,9
	С территории Европы	5,7	15,6	48,7	101,8	3,2	27,4
Всего	С территории крупных островов	2,8	8,1	5,7	34,9	1,2	2,3
Индийский	С территории Австралии	0,2	3,7	16,4	28,4	5,5	66,7
	С территории Африки	0,6	5,1	22,1	38,7	4,1	49,0
	С территории Азии	1,7	10,7	65,3	97,2	7,1	119,2
	С территории крупных островов	5,1	27,7	115,6	84,7	5,3	60,6
Всего				219,4			295,5
Северный Ледовитый	С территории Европы	5,6	17,8	47,5	26,6	1,0	7,2
	Всего			47,5			7,2
Всего по земному шару				2397			1302,5

Северное полушарие

Южное полушарие

Зоны	Субарктическая	Гумидная	Аридная пассатная	Экваториальная	Аридная пассатная	Гумидная



Р и с. 3. Распределение атмосферных осадков, поверхностного и подземного стока в Мировой океан по широтным зонам суши. 1 — атмосферные осадки, 2 — поверхностный сток, 3 — подземный сток

ческое значение для решения вопросов водоснабжения в приморских районах. В литературе описаны многочисленные случаи, когда еще много веков назад люди с помощью различных приспособлений, в частности длинных бамбуковых трубок, использовали крупные субмаринные источники для получения пресной питьевой воды, а также для заправки кораблей пресной водой.

Количественная оценка субмаринного подземного стока позволяет выявить дополнительные водные ресурсы для водоснабжения. Наиболее наглядным примером практического использования вод субмаринных источников является сооружение специальной плотины в море вблизи юго-восточного побережья Греции, что позволило «оградить» выходы субмаринных источников и создать как бы пресноводное озеро внутри моря. Суммарный дебит субмаринных источников здесь превышает 1 млн. м³/сут, и воды этого «озера» используются для орошения земель прибрежной территории. Большие перспективы в области использования субмаринных подземных вод морскими водозаборами открываются в связи со значительным развитием технических средств бурения и опробования скважин на шельфе, материковом склоне и дне морей и океанов. Ряд скважин, пробуренных на шельфе Австралии, вблизи Атлантического побережья США, на континентальном склоне Мексиканского залива и в других местах, вскрыли пресные слабоминерализованные субмаринные воды, обладающие значительным напором. Так, при бурении в Атлантическом океане у берегов Флориды пресные воды обнаружены в 43 км от берега к

востоку от г. Джексоновилла. Скважиной, пробуренной с корабля, на глубине 250 м ниже уровня моря вскрыта вода с минерализацией 0,7 г/л, при этом напор воды достигал 9 м над уровнем моря.

Следует, однако, иметь в виду, что иногда высказываются суждения о необоснованно высоких возможностях использования субмаринных подземных вод, об их практически неисчерпаемых ресурсах.

Эти суждения в ряде случаев могут ввести в заблуждение водохозяйственные органы. Выводы о возможностях практического использования субмаринного подземного стока могут быть сделаны только после проведения специальных работ по оценке эксплуатационных запасов субмаринных подземных вод.

Подземные воды и окружающая среда

В последние десятилетия и особенно в последние 10—12 лет понятие об окружающей нас природной среде не только укоренилось в научной литературе, но и прочно вошло в нашу повседневную жизнь. Прошло несколько международных конференций и симпозиумов, посвященных охране окружающей среды, организованных ООН, ЮНЕСКО и ЮНЕП. Специалисты многих стран мира выражают беспокойство по поводу прогрессирующего загрязнения воды и воздуха, истощения земельных и лесных ресурсов и вообще «бурного» вмешательства человека в природу. В высокоразвитых странах становится, как сказал поэт, «все меньше окружающей приро-

ды, все больше окружающей среды». Это обстоятельство волнует многих, и не только специалистов. У нас в стране в периодической печати все чаще появляются статьи, посвященные проблеме взаимоотношения человека и природы.

Большое внимание охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов уделено в проекте «Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года». В специальном разделе подчеркнута необходимость повысить эффективность мер по охране природы, последовательно улучшать охрану водных ресурсов. Учитывая важную роль подземных вод в решении вопросов питьевого водоснабжения, в проекте «Основных направлений» записано: «уделить особое внимание увеличению разведанных запасов пресных подземных вод». Одной из актуальных гидрогеологических задач является охрана пресных подземных вод от загрязнения, изучение условий загрязнения подземных вод и их защищенности, прогнозирование процесса загрязнения и изменения качества подземных вод.

В решении проблемы охраны окружающей среды и разработке мероприятий по рациональному использованию природных ресурсов участвуют специалисты разного профиля — географы, геологи, экологи, почвоведы, гидротехники, биологи, экономисты. В последние годы в обсуждение этой проблемы включались писатели, журналисты, деятели искусства. Такой живой интерес широкой общественности к «взаимоотношениям» человека с природой сви-

детельствует прежде всего о том, что в нашей стране охрана природы действительно стала всенародным делом, что всем нам далеко не безразлично, в какой окружающей среде будем жить мы сами, наши дети и внуки.

В связи со значительными масштабами регионального перераспределения поверхностного стока перед наукой и практикой возникла новая проблема — разработка основ и методов прогнозных оценки влияния гидротехнических сооружений на основе компоненты окружающей среды, социальных последствий освоения новых территорий, экономической эффективности мероприятий. В проекте «Основных направлений экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года» поставлена задача «значительно повысить научную обоснованность регионального перераспределения водных ресурсов, развернуть работы, связанные с переброской части стока северных рек в бассейн Волги». В решении поставленной задачи участвуют многие научно-исследовательские, проектные и производственные организации.

Здесь уместно еще раз отметить, что любой вид хозяйственной деятельности (промышленное, гидротехническое и гражданское строительство, вырубка леса, мелиорация и распашка земель, использование поверхностных и подземных вод и т. д. вплоть до осуществления проектов регионального перераспределения водных ресурсов) всегда и неизбежно оказывает влияние на окружающую среду. И главная задача науки — научиться правильно прогнозировать возможные изменения в

окружающей среде, разработать научные основы рационального природопользования (справедливо выражение «используй — охраняй, охраняя — используй!»), разработать научно обоснованные рекомендации по предотвращению отрицательного влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду.

Гидрогеологические прогнозы, являясь одним из элементов общего прогнозирования изменений природной среды при территориальном перераспределении стока, должны служить исходным материалом для эколого-экономических оценок последствий переброски стока и разработки защитных мероприятий для предотвращения возможных неблагоприятных последствий.

Но вернемся к подземным водам. Подземные воды, как уже отмечалось, являются одним из компонентов окружающей среды, а точнее, геологической среды. Термин «геологическая среда» был введен академиком Е. М. Сергеевым. Под геологической средой понимается часть земной коры (литосферы), доступная влиянию человеческой деятельности.

Являясь частью окружающей среды, подземные воды находятся в сложных и разноплановых «взаимоотношениях» с другими ее компонентами. При этом важно подчеркнуть, что подземные воды, особенно их интенсивная эксплуатация, оказывают существенное влияние на окружающую среду. Так, интенсивный отбор подземных вод приводит к снижению земной поверхности, способствует активизации карстово-суффозионных процессов, влияет на водность рек, вызывает осушение земель. По-

ложение уровня грунтовых вод определяет характер растительности, влияет на урожайность сельскохозяйственных культур, определяет необходимость осушительных мероприятий при строительстве. Колебания уровня грунтовых вод в течение года и в многолетнем разрезе могут вызвать подтопление городских территорий и сельскохозяйственных угодий, способствовать развитию оползней и т. д.

С другой стороны, подземные воды испытывают на себе влияние других компонентов окружающей среды, особенно тех из них, которые подвергаются интенсивному хозяйственному воздействию. Так, разливы воды на реках во время половодий приводят к усилению питания подземных вод в речных долинах и, следовательно, к увеличению их естественных ресурсов. Вместе с тем регулирование поверхностного стока водохранилищами вызывает сокращение продолжительности и интенсивности паводков и обуславливает изменение режима питания водоносных горизонтов, что сокращает ресурсы подземных вод и ухудшает условия эксплуатации действующих водозаборов. Такое положение сложилось, в частности, в долине р. Северского Донца.

Широкое развитие мелиорации, в том числе строительство ирригационных и обводнительных каналов, вызывает увеличение ресурсов подземных вод прилегающих территорий.

Примеры взаимодействия подземных вод с другими компонентами окружающей среды можно было бы продолжить. Ниже мы рассмотрим более подробно только один из наиболее важных аспектов влияния подземных вод

на окружающую среду, а именно влияние интенсивного отбора подземных вод на поверхность земли.

Влияние подземных вод на оседание поверхности земли

Процесс разрушения и переноса продуктов разрушения горных пород принято называть денудацией. Различают поверхностную и подземную денудацию. Поверхностная денудация обусловлена процессами механического и химического разрушения пород. В результате поверхностной денудации образуется сток взвешенных, влекомых и растворенных веществ, который количественно может быть определен путем непосредственных измерений в замыкающем створе реки.

В результате движения подземных вод происходит массоперенос и перераспределение веществ непосредственно в толще земной коры.

Для обозначения денудационной деятельности грунтовых вод в толще пород водосборной площади профессором Ф. А. Макаренко был предложен термин «подземная денудация». Подземная денудация в отличие от поверхностной определяется в основном выносом растворенных в подземных водах химических веществ, а процессы механического выноса частиц породы играют ничтожную роль. Вынос растворенных веществ с подземным стоком представляет собой один из наиболее важных процессов миграции химических элементов в земной коре. По данным Ф. А. Макаренко и В. П. Зверева (1970), ежегодно на территории СССР подземным стоком перераспределяется около 280 млн. т раство-

ренных веществ, в то время как в результате поверхностного стока выносится в среднем 161 млн. т в год. Количественная оценка процессов химического подземного стока и выяснение закономерностей его формирования имеет важное значение при исследовании многих проблем современной геохимии и гидрохимии. В частности, изучение стока растворенных в подземных водах веществ необходимо при разработке гидрогеохимических критериев поисков месторождений полезных ископаемых по химическому выносу растворенных веществ в реки с подземным стоком, при изучении роли подземного стока в современных геологических процессах, в формировании и разрушении месторождений полезных ископаемых и других процессах. Количественная оценка подземной химической денудации осуществляется путем расчета количества выносимых подземными водами растворенных веществ. При этом используются данные о расходе подземного потока и о химическом составе и минерализации подземных вод.

Для количественного выражения денудационной деятельности вод А. Пенк ввел понятие о «денудационном метре», под которым понимается время, которое потребуется реке для того, чтобы понизить в современных условиях поверхность своего бассейна на один метр. Б. И. Куделин (1960) распространил этот термин и на подземную денудацию, т. е. для выражения времени снижения поверхности земли на один метр под влиянием выноса растворенных веществ из земной коры подземными водами. Расчеты показывают, что, например, в Прибалтике

подземными водами выносятся с 1 км² площади ежегодно примерно 30 т растворенных веществ. Пересчитав эту величину на объем растворенных горных пород (с учетом их объемного веса), получим, что в Прибалтике подземная химическая денудация составит 0,008 мм/год, а величина денудационного метра — около 130 тыс. лет. Иными словами, ежегодно земная поверхность в результате выноса растворенных веществ снижается примерно на восемь тысячных миллиметра, а снижение на один метр происходит за 130 тыс. лет. (При этом надо помнить, что эти величины характеризуют только подземную денудацию, а с учетом выноса растворенных и взвешенных веществ поверхностными водами денудация земной поверхности происходит быстрее, и величина денудационного метра составит около 40 тыс. лет.) Цифры такого же порядка характерны в целом для всей территории Европейской части СССР.

Как видим, снижение земной поверхности под влиянием подземного стока происходит медленно (менее чем на один метр за 100 тыс. лет), постепенно и незаметно для человека, и при всей важности этого процесса для геологического развития Земли никаких «неудобств» от этого мы не ощущаем, ничего страшного не происходит.

Совсем другое дело — снижение земной поверхности под влиянием интенсивного отбора подземных вод.

Как известно, в районах крупных откачек подземных вод формируются большие понижения уровней подземных вод, так называемые депрессионные ворон-

ки. Понижение пьезометрических уровней подземных вод и изменения пластовых давлений вызывают изменения напряжений в горных породах, скоростей, а иногда и направлений движения подземных вод, что увеличивает интенсивность суффозионных и карстовых процессов. В одних условиях понижения уровней приводят к оседанию поверхности земли, в других — к образованию провалов. Наиболее широко распространены оседания на территориях, где подземные воды заключены в хорошо проницаемых песчано-гравелистых породах с небольшой сжимаемостью, которые переслаиваются с глинистыми слабопроницаемыми, но хорошо сжимаемыми отложениями. При откачке снижается напор подземных вод, что увеличивает эффективное давление на скелет грунта и приводит к уплотнению сжимаемых отложений, а как следствие — к оседанию земной поверхности.

Нередки случаи, когда в карбонатных породах, содержащих пресные подземные воды хорошего качества, развиваются карстово-суффозионные процессы. Механизм этих процессов в упрощенном виде можно представить следующим образом. Карбонатные породы в результате перерывов в осадконакоплении и под воздействием физического и химического выветривания обычно пронизаны на значительную глубину многочисленными полостями и кавернами различных размеров и конфигурации, заполненными в основном рыхлыми отложениями. При продолжительной и интенсивной откачке напорных вод карбонатных отложений происходит значительное увеличение скорос-

тей фильтрации (в десятки и сотни раз). Это приводит сначала к перераспределению рыхлого заполнителя, а затем к его полному выносу. Кровля образовавшихся пустот уже не может выдержать нагрузки вышележащих водонасыщенных песчано-глинистых отложений, что приводит к медленному оседанию земной поверхности. Это хорошо видно на рис. 4. Под влиянием снижения уровней эксплуатируемого водоносного горизонта происходит как бы всасывание (суффозия) песчано-глинистых отложений в освободившиеся полости. В результате на поверхности земли образуются понижения диаметром до 100 и более метров и глубиной от нескольких сантиметров до двух и более метров.

Оседания земной поверхности и провалы часто приводят к опасным последствиям. Так, оседания земной поверхности могут вызвать подтопление и заболачивание территорий, деформацию авто-трасс, железнодорожного полотна, водопроводных труб и других коммуникаций, изменение уклонов русел рек, деформацию промышленных и гражданских сооружений.

Но еще более опасны провалы, которые часто образуются при понижении напора подземных вод в районах развития закарстованных карбонатных пород, перекрытых сверху песчано-глинистыми отложениями.

Проблема оседания земной поверхности под влиянием откачки подземных вод (аналогичные проседания развиваются и при откачке нефти и газа) привлекает внимание ученых, которые направляют свои усилия на изучение физических причин и закономер-

ностей проявления этих процессов с целью предотвращения таких оседаний и провалов или уменьшения их отрицательных последствий. Проблема эта стала международной. Она включена в Международную гидрологическую программу ЮНЕСКО. В 1969 г. в Токио был проведен первый международный симпозиум, специально посвященный этой проблеме, а в 1976 г. — второй симпозиум (г. Анахайм, США).

А. А. Коноплянцев и Е. Н. Ярцева (1983) описывают многочисленные случаи оседания и провалов поверхности, вызванных интенсивной эксплуатацией подземных вод. Наиболее известно в нашей стране проседание земной поверхности в Таллине, вызванное откачкой подземных вод. Здесь, по данным Л. К. Валнера, в центральной части депрессионной воронки оседание земной поверхности с начала века достигло 70 см. До середины 60-х годов темпы снижения земной поверхности составляли 27—36 мм/год, а затем уменьшились до 4—5 мм в год. При этом установлена зависимость интенсивности оседания от колебаний уровней подземных вод кембро-вендского водоносного комплекса и подземных вод флювиогляциальных отложений, вызванных неравномерностью водоотбора: при повышении уровня подземных вод оседание замедляется, а при понижении — увеличивается.

Оседание земной поверхности широко развито в США. Дж. Ф. Поланд (1981) отмечает, что величины оседаний изменяются от 0,3 м в районе г. Саванна (штат Джорджия) до 9 м в западной части долины Сан-Хоакин (штат Калифорния). Оседания, превышающие

1 м, отмечены в штатах Техас, Аризона, Невада, Калифорния. В штате Калифорния общая площадь оседания земной поверхности достигает 16 тыс. км². В долине Сан-Хоакин наблюдается одно из самых значительных изменений окружающей среды, вызванное откачкой подземных вод. Здесь имеется почти 1,5 млн. га орошаемых земель, половина которых охвачена оседанием. Максимальное оседание земной поверхности превышает 8,8 м. В отдельных местах оседания происходят резко и неравномерно, в результате чего нарушается эксплуатация каналов и водопроводов. Затраты на ремонт и переоборудование глубоких и дорогостоящих скважин на воду составляют миллионы долларов. В Сан-Франциско поверхность земли понизилась на 2,4 м, что привело к необходимости сооружения и систематического наращивания специальных дамб, чтобы сдерживать наступление вод залива на сушу.

В Мехико оседание земной поверхности в пределах города достигло 8,5 м. В результате были повреждены здания, мостовые, водопроводная и канализационная сеть. Дворец изящных искусств, расположенный в центре города, опустился более чем на 3 м ниже уровня окружающих улиц. Для того чтобы прекратить оседания, к городу подвели поверхностную воду и прекратили откачку подземных вод.

В Японии, где подземные воды используются интенсивнее, чем в других странах, также широко распространены оседания земной поверхности. В этой стране общая площадь территории, опустившейся под влиянием отбора подземных вод ниже уровня мо-

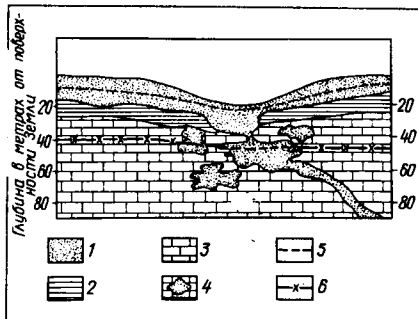


Рис. 4. Схема развития карстово-суффозионных процессов и оседания земной поверхности при эксплуатации напорных вод. 1 — песчано-глинистые рыхлые отложения, 2 — глинистые породы, 3 — карбонатные карстирующие породы, 4 — закольцованные пустоты, 5 — уровень грунтовых вод в рыхлых песчано-глинистых отложениях, 6 — уровень напорных вод, эксплуатируемых артезианскими скважинами

ря, достигает 1200 км². В Токио в период с 1900 до 1975 г. оседание земной поверхности достигло 4,75 м. Введение ограничения на использование подземных вод (в Японии были изданы специальные законы по контролю за откачкой подземных вод) способствовало постепенному подъему их уровня и уменьшению величин уплотнения пород.

Случаи оседания земной поверхности в результате интенсивного отбора подземных вод известны также в Италии, Таиланде, Нидерландах и некоторых других странах.

Заканчивая краткое рассмотрение этого вопроса, важно подчеркнуть, что задачей гидрогеологов является прогнозирование развития процесса оседания земной поверхности в естественных

и нарушенных условиях, разработка рационального режима эксплуатации подземных вод, особенно в районах, подверженных оседанию и карстово-суффозионным процессам, а также разработка рекомендаций по уменьшению или прекращению оседания земной поверхности.

Ресурсы и использование подземных вод в перспективе

Как мы видели в предыдущих главах, отбор и использование подземных вод в настоящее время составляют в среднем лишь около половины от разведанных и утвержденных эксплуатационных запасов и примерно $\frac{1}{8}$ часть от общих прогнозных эксплуатационных ресурсов страны. Но это все в среднем; в масштабе всей страны. А как обстоит дело с удовлетворением потребности в подземной воде отдельных конкретных регионов на ближайшую перспективу, например на уровень 2000 г.?

К районам, где формируются значительные запасы подземных вод, удовлетворяющие существующую и перспективную потребности, может быть отнесена большая часть территории гумидной зоны страны, в частности, Белоруссия, Латвия, Эстония, Нечерноземная зона РСФСР, центральная и северная части Украины, южная часть Иркутской области и Красноярского края, значительная часть территории Дальнего Востока.

В благоприятных гидрогеологических условиях Средней Азии и Казахстана (межгорные впадины,

конусы выноса, предгорные шлейфы) формируются большие запасы подземных вод, но поскольку в этих южных районах существует огромная потребность в воде, прежде всего для орошения, эти запасы не могут удовлетворить перспективную потребность в воде.

К районам, где формируются ограниченные запасы подземных вод, не удовлетворяющие, как правило, уже существующие потребности в воде, относятся территории засушливых областей страны и вечной мерзлоты: южная часть Украины, в том числе Крым, Молдавия, Восточный Азербайджан, равнинные районы Средней Азии и Казахстана, обширные области распространения многолетнемерзлых пород в Сибири, на севере и северо-востоке страны.

Сведения об использовании подземных вод приводятся в табл. 5.

Следует особо подчеркнуть, что при определении перспектив использования подземных вод специалистами водохозяйственных органов интересует не только, сколько воды можно будет взять из земных недр в тот или иной период времени, но и какое изменение вызовет этот отбор в поверхностном, прежде всего в речном стоке. Иными словами, всегда при оценке общих водных ресурсов конкретных регионов возникает вопрос: можно или нельзя суммировать ресурсы поверхностных и подземных вод и если можно, то в каких количествах.

Действительно, многолетней практикой наблюдений установлено, что интенсивная эксплуатация подземных вод часто вызывает изменения в речном стоке. Однако неправильно считать, что при

Использование подземных вод
(по материалам ВСЕГИНГЕО), км³/год

Республики	Прогнозные эксплуатационные ресурсы			Обеспеченность прогнозн. ресурсами 1 чел., м ³ /сут
	Всего	В том числе		
		связанные с поверхн. стоком	не связанные с поверхн. стоком	
РСФСР	175,1	88,8	86,3	3,43
Украинская ССР	23,3	10,3	13,3	1,27
Белорусская ССР	16,2	7,0	9,2	4,55
Молдавская ССР	0,92	0,46	0,46	0,63
Эстонская ССР	2,2	1,6	0,6	4,0
Латвийская ССР	2,2	1,6	0,6	2,37
Литовская ССР	0,95	0,47	0,48	0,75
Грузинская ССР	3,2	2,4	0,8	1,70
Армянская ССР	5,0	4,6	0,4	4,35
Азербайджанская ССР	5,2	3,2	2,0	2,23
Казахская ССР	47,3	22,1	25,2	8,47
Узбекская ССР	30,0	17,6	12,4	4,95
Киргизская ССР	14,0	9,6	4,4	10,3
Таджикская ССР	6,4	3,5	2,9	4,26
Туркменская ССР	1,2	0,6	0,6	1,10
Всего по СССР	333,1	173,7	159,4	3,40

отборе подземных вод во всех случаях наносится ущерб речному стоку. Эксплуатация водоносных горизонтов, гидравлически не связанных с рекой (глубоких водоносных горизонтов, которые в рассматриваемом регионе не дренируются местной речной сетью), не вызывает ущерба речному стоку. Наоборот, за счет сброса в реки сточных вод, образующихся при использовании откачиваемых из таких горизонтов подземных вод, может наблюдаться даже некоторое увеличение поверхностного стока. Отбор подземных вод из водоносных горизонтов, которые дренируются реками или озерами (гидравлически связанных с поверхностными водотоками или водоемами), в большинстве слу-

чаев приводит к сокращению поверхностного стока. Величина сокращения речного стока под влиянием отбора подземных вод зависит от многих факторов, и в первую очередь от расстояния водозабора от реки, гидрогеологического строения (фильтрационных свойств водовмещающих пород) участка между рекой и водозабором, дебита и типа водозабора. При эксплуатации таких водоносных горизонтов сокращение поверхностного стока наступает далеко не сразу после начала эксплуатации водозабора, значительно растягивается во времени и зависит от степени влияния указанных выше факторов. Поэтому во многих случаях отбор подземных вод из гидравлически связанных

водоносных горизонтов достаточно длительное время не сказывается на поверхностном стоке. Тем не менее одной из важных задач гидрогеологов является оценка возможных изменений речного стока под влиянием эксплуатации подземных вод и определение той части ресурсов подземных вод, которую можно включать в водохозяйственный баланс того или иного региона дополнительно к речному стоку. В табл. 5 поэтому приведены не только общие величины ресурсов подземных вод, но и указаны ресурсы подземных вод водоносных горизонтов, гидравлически связанных и гидравлически не связанных с речным стоком, а также оценен отбор подземных вод, дополнительный к поверхностному стоку, т. е. за вычетом ущерба речному стоку.

Представляет интерес определить, хотя бы в самых общих чертах, степень обеспеченности населения и народного хозяйства нашей страны подземной водой на весьма отдаленную перспективу. Такая попытка впервые была сделана в статье И. С. Зекцера, Н. И. Плотникова и Л. С. Язвина (1979). Авторы статьи проанализировали основные тенденции оцененных в настоящее время эксплуатационных ресурсов подземных вод. Примерно к середине следующего столетия в результате влияния различных факторов, связанных с хозяйственной деятельностью человека, могут произойти значительные изменения в запасах подземных вод. Авторы указанной статьи выделили три основных фактора, которые приводят к уменьшению эксплуатационных ресурсов подземных вод.

Во-первых, это интенсивный отбор подземных вод. Как отмечалось, из общих оцененных для территории страны прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод примерно половину составляют невосполняемые естественные (вековые, статические) запасы. Исходя из принятой расчетной схемы эти запасы срабатываются за 50 лет эксплуатации. Следовательно, в результате отбора невосполняемых запасов подземных вод общие эксплуатационные запасы к середине будущего столетия могут уменьшиться на $1-1,5$ тыс. $\text{м}^3/\text{с}$.

Во-вторых, уменьшению прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод способствует их нерациональное, а точнее, недостаточное использование при осуществлении мероприятий по разработке месторождений полезных ископаемых или защите подтопленных территорий при ирригационном и гидротехническом строительстве. В этих случаях откачиваемые из недр подземные воды часто бесцельно сбрасываются в поверхностные водотоки. Так, только при осушении шахт и карьеров на месторождениях твердых полезных ископаемых откачивается до $100 \text{ м}^3/\text{с}$ подземных вод, практическое использование которых весьма незначительно.

Уменьшению прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод способствует, в-третьих, строительство крупных водохранилищ. Сооружение водохранилищ, регулирующих речной сток, приводит к сокращению интенсивности и продолжительности паводков, особенно весеннего паводка, особенно в реках, что обуславливает изменение режима питания

подземных вод в речных долинах и ухудшение условий работы береговых водозаборов.

Вместе с тем существуют факторы, вызывающие увеличение эксплуатационных ресурсов подземных вод.

Возьмем те же водохранилища. С одной стороны, действительно, сокращение продолжительности паводков ухудшает условия питания подземных вод. Но с другой стороны, из всех водохранилищ существует фильтрация воды в дно и берега (так называемые фильтрационные потери), которые приводят к увеличению мощности водоносного горизонта и величины восполнения подземных вод. К таким же последствиям, положительным для формирования запасов подземных вод, приводит строительство ирригационно-обводнительных каналов, а также мероприятия, направленные на создание линз пресных вод в пустынных районах страны.

Важным мероприятием по увеличению эксплуатационных запасов подземных вод и улучшению возможностей их практического использования является искусственное восполнение запасов подземных вод, которое иногда называют «магазинированием» подземных вод. Искусственное восполнение подземных вод представляет собой особый вид регулирования питания эксплуатируемых водоносных горизонтов в целях предотвращения истощения и увеличения их запасов. Оно обычно осуществляется двумя различными способами: 1) открытым — путем свободной инфильтрации в водоносный горизонт воды непосредственно из поверхностных водотоков и водоемов или же из специально построенных

фильтрационных бассейнов и шурфов и 2) закрытым — путем нагнетания воды в напорный водоносный горизонт через скважины. Фильтрационные бассейны устраивают, как правило, вблизи действующих водозаборов подземных вод, с тем чтобы основная часть инфильтрующейся воды (до 70—80%) привлекалась к водозаборным сооружениям. Остальное количество инфильтрующихся поверхностных вод расходуется на восполнение сработанных естественных запасов подземных вод, препятствуя их истощению, а также на растекание по водоносному горизонту. Последнее приводит к некоторому увеличению подземного питания ближайших рек и озер.

Искусственное восполнение подземных вод широко применяется во многих странах. Так, доля искусственного восполнения в общем объеме использования подземных вод составляет: в ФРГ — 30%, в США — 30, в Швейцарии — 25, в Швеции — 19, в Англии — 12%. В СССР искусственное восполнение запасов подземных вод широко применяется в Латвии, Литве, на Северном Кавказе, в Грузии, Узбекистане. Однако в целом искусственное восполнение подземных вод в нашей стране пока не получило широкого развития, и его доля составляет около 4—5% от общего использования подземных вод. В последние годы для обоснования возможности и целесообразности применения методов искусственного восполнения подземных вод в Советском Союзе выполнены специальные исследования: проведено гидрогеологическое районирование всей территории по условиям создания искусственных запасов, выявлены

подходящие геологические структуры, приближенно оценены фильтрационные параметры водоносных пород, граничные условия и размеры подземных емкостей, количество и качество поверхностных вод — источников восполнения эксплуатационных запасов подземных вод. Следует особо подчеркнуть, что искусственное восполнение запасов подземных вод применяется обязательно с учетом экономических соображений, т. е. когда другие возможные источники водоснабжения обходятся дороже.

В перспективе в нашей стране намечено значительное развитие мероприятий по искусственному восполнению запасов подземных вод, в первую очередь в районах действующих водозаборов. Общая производительность систем искусственного восполнения запасов подземных вод в перспективе может быть доведена до 150—160 м³/с.

Важным резервом увеличения эксплуатационных запасов подземных вод является совершенствование способов и средств добычи подземных вод. Можно быть уверенным в том, что в недалеком будущем будут разработаны, изготовлены и внедрены мощные насосы, которые позволят достаточно дешево поднимать воду с глубин порядка 400—500 м, новые конструкции скважин с повышенной производительностью, новые более дешевые способы опреснения соленых и солоноватых подземных вод. Все это позволит эксплуатировать те водоносные горизонты, которые сегодня считаются «непродуктивными», в первую очередь глубокие подземные воды, ресурсы которых в настоящее время не учитываются, что

может привести к увеличению оцененных прогнозных эксплуатационных ресурсов на 20—30%.

Анализируя высказанные выше соображения о факторах, способствующих как увеличению, так и уменьшению прогнозных эксплуатационных ресурсов подземных вод, авторы указанной статьи высказывают предположение о том, что при научно обоснованном управлении использованием, регулированием и искусственным восполнением подземных вод, а также при осуществлении ряда мероприятий по борьбе с их загрязнением общая величина прогнозных эксплуатационных ресурсов в целом по стране в ближайшие 50—70 лет примерно сохранится на современном уровне.

Далее, если принять норму водопотребления равной 500 л в сутки на человека (что соответствует нормам современного потребления воды в крупных городах высокоразвитых стран) и допустить, что темпы роста населения в СССР в следующем столетии сохранятся примерно такими же, как сейчас, можно предположить, что потребность в пресных подземных водах в отдаленной перспективе составит порядка 3 тыс. м³/с, или около 100 км³/год. Вспомним теперь, что прогнозные эксплуатационные ресурсы подземных вод территории нашей страны, оцененные на настоящий момент времени, составляют порядка 330 км³/год, т. е. примерно в 3 раза превышают потребность в подземной воде даже через 50—70 лет.

Однако этот очень важный вывод, позволяющий с оптимизмом и уверенностью смотреть в будущее, не должен восприниматься как свидетельство полного благополучия и отсутствия сложных и

еще далеко не решенных проблем в деле изучения, оценки и рационального использования ресурсов подземных вод. Резкая неравномерность в распределении ресурсов подземных вод на территории страны, недостаточная изученность гидрогеологических условий ряда районов, необходимость предотвращения загрязнения и истощения подземных вод, необхо-

димость совершенствования научно-методических основ изучения оценки и прогноза ресурсов подземных вод в различных природных и инженерно-хозяйственных условиях обуславливают необходимость дальнейшего всестороннего и углубленного изучения подземных вод — ценного полезного ископаемого и важного компонента окружающей среды.

Литература

- Гидрогеология. М., МГУ, 1984.
- Гидрогеология СССР. Сводный том. Вып. 3. М., Недра, 1975.
- Джамалов Р. Г., Зекцер И. С., Иванов В. А. Изучение подземных вод из космоса. — Земля и вселенная, 1978, № 2.
- Зекцер И. С. Ресурсы подземных вод в СССР. — Земля и вселенная, 1976, № 4.
- Зекцер И. С. Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения, М., Наука, 1977.
- Зекцер И. С., Плотников Н. И., Язвин Л. С. О перспективах использования подземных вод. — Водные ресурсы, 1979, № 2.
- Зекцер И. С., Язвин Л. С. Основные результаты изучения ресурсов пресных подземных вод СССР и задачи дальнейших исследований. — Водные ресурсы, 1982, № 6.
- Коноплянцев А. А., Ярцева-Попова Е. Н. Оседание поверхности земли в связи с понижением уровня подземных вод. Обзор ВИЭМС. М., 1983.
- Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М., Наука, 1974.
- Никитин М. Р., Ахметьева Н. П., Санин М. В. Ресурсы солоноватых и соленых подземных вод СССР. М., Наука, 1978.
- Основы гидрогеологии. Гидрогеодинамика. Новосибирск, Наука, 1983.

