

ПОДЗЕМНЫЙ СТОК НА ТЕРРИТОРИИ СССР И ПРОБЛЕМА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Профессор Б. И. КУДЕЛИН

Советский Союз занимает первое место в мире по водным ресурсам, однако они чрезвычайно неравномерно распределены по территории страны: наиболее богаты водой районы севера и северо-востока, находящиеся в малоблагоприятных климатических условиях, тогда как районы с благоприятным тепловым балансом испытывают недостаток в воде. Кроме того, 60—80% общего среднегодового стока приходится на сравнительно короткий весенний период.

Все эти обстоятельства приводят к тому, что некоторые районы нашей страны имеют неустойчивый или дефицитный водный баланс. Здесь развитие промышленности и сельского хозяйства по существу определяется водными ресурсами. Потребление воды из года в год повсеместно растет, и поэтому уже сейчас необходимо предусмотреть меры, которые могли бы предотвратить ее нехватку.

В связи с этим была начата разработка Генеральной схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов от истощения и загрязнения на двадцатилетний период (1961—1980 гг.). Совершенно очевидно, что создание этой схемы может быть осуществлено только на основе составления общего водного и воднохозяйственного балансов нашей страны. Среди всех элементов водного баланса самым малоизученным является подземный сток. Оценка его на территории всей страны представляет собой исключительную по трудности задачу, которая ставится у нас впервые.

Ниже кратко излагаются основные результаты региональной оценки и картирования естественных ресурсов подземных вод на территории нашей страны, выполненные большим коллективом исследователей кафедры гидрогеологии Московского университета, Государственного гидрологического института и Всесоюзного института гидрогеологии и инженерной геологии. По территории Казахстана в работе принимали участие сотрудники Института геологических наук им. К. И. Сатпаева Академии наук Казахской ССР и Казахского гидрогеологического треста, по Средней Азии — Института гидрогеологии и инженерной геологии, по Северо-Востоку страны (Якутская АССР) — Института мерзлотоведения Сибирского отделения Академии наук СССР, по Кавказу — специалисты производственных геологических комитетов Грузинской и Азербайджанской ССР.

*

Подземные воды отличаются от всех других полезных ископаемых своей замечательной способностью к возобновлению. В среднем многолетнем разрезе величина питания подземных вод эквивалентна подземному стоку. Поэтому естественные ресурсы подземных вод могут быть выражены через величины, характеризующие подземный сток.

Для целей водоснабжения используются пресные подземные воды, приуроченные преимущественно к верхней зоне интенсивного водообмена. Подземный сток этой зоны в районах с постоянно действующей гидрографической сетью формируется под дренирующим воздействием речных систем. Таким образом, ресурсы пресных подземных вод верхней зоны на большей части территории Советского Союза могут быть охарактеризова-

ны величиной подземного стока в реки. Это открывает возможность оценки естественных ресурсов пресных подземных вод верхней зоны земной коры для большей части территории нашей страны, не прибегая к дорогостоящим разведочным и опытным работам. Экономическая эффективность такого подхода к решению задачи исключительно велика.

Выделение подземного стока из общего речного представляет собой метод региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Такая оценка позволяет впервые поставить задачу площадного картирования этих ресурсов на больших территориях, вплоть до всей суши земного шара. С решением данной задачи гидрогеологические карты приобретают принципиально новое содержание.

Указанный метод позволяет получить средние многолетние величины модулей и коэффициентов подземного стока, а также материалы к характеристике многолетних и сезонных колебаний этих величин в пределах всего срока наблюдений за речным стоком. Возможность учета многолетних колебаний в связи с цикличностью климата имеет большое научное и практическое значение и является важным достоинством предлагаемой методики.

В основу проведенного расчета подземного стока был положен комплексный гидролого-гидрогеологический метод генетического расчленения гидрографа общего стока реки¹. При применении этого метода учитывались конкретные физико-географические условия формирования подземного стока в отдельных районах (болотное, озерное, наледное и искусственное регулирование стока).

Для оценки естественных ресурсов подземных вод аридных и полупустынных районов, где речная сеть отсутствует или развита слабо, привлекались материалы гидродинамических расчетов расхода подземного потока, а также воднобалансовых исследований на озерах и стоковых площадках. Глубокий подземный сток по ряду структур определялся с помощью уравнения среднего многолетнего водного баланса, составленного для областей питания артезианских бассейнов.

На основе соответствующей обработки материалов по описанной методике построены следующие карты территории СССР (масштаб 1 : 5 000 000):

изолиний среднемноголетних модулей подземного стока в л/сек с 1 км², характеризующая распределение по территории абсолютных величин расхода подземного потока;

изолиний минимальных модулей подземного стока, характеризующая естественные ресурсы подземных вод высокой степени обеспеченности в многолетней перспективе;

подземного стока в процентах от общего речного стока, позволяющая оценить роль подземных вод в общих водных ресурсах страны;

среднемноголетнего слоя подземного стока (в мм за год), которая дает возможность определить величину инфильтрационного питания подземных вод;

коэффициентов подземного стока, показывающая, какая часть атмосферных осадков расходуется на питание подземных вод (эта карта дает важнейшую характеристику водного баланса).

Весь указанный комплекс карт представляет большой интерес для науки и практики, особенно в связи с задачей составления Генеральной схемы. Они открывают возможность определения естественных ресурсов подземных вод по любому закартированному региону СССР, величины питания («возобновляемых запасов») при региональной оценке эксплуатации-

¹ См.: Б. И. Куделин. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. Изд-во МГУ, 1960.

онных ресурсов подземных вод, величины (объема) подземного стока при составлении общего водного баланса СССР и по отдельным его районам, а также решения вопроса о взаимосвязи поверхностных и подземных вод и роли подземного стока в общем речном стоке и в общих водных ресурсах страны. Они позволяют прогнозировать изменения величины общего речного стока под влиянием интенсивного отбора подземных вод для нужд народного хозяйства, способствуют развитию более совершенных методов расчета и прогноза речного стока, региональному изучению режима и баланса подземных вод.

С помощью карт подземного стока можно устанавливать наиболее общие закономерности формирования естественных ресурсов подземных вод. Эти закономерности в общих чертах сводятся к следующему.

Вполне четко выделяются три основных фактора, влияющих на формирование подземного стока: климат, рельеф и структурно-гидрогеологический. Все они действуют не изолированно, а взаимосвязанно. Это маскирует влияние одного какого-либо фактора, взятого в отдельности, и затрудняет выяснение его действительной роли в процессе формирования подземного стока. Величина подземного стока представляет собой, таким образом, некоторую обобщенную (интегральную) количественную характеристику весьма сложного природного явления, заключающегося в процессах питания, движения и дренирования подземных вод.

Влияние климата придает подземному стоку черты ярко выраженной широтной зональности. Это вполне закономерно, если учесть, что величина питания подземных вод определяется в первую очередь количеством выпадающих атмосферных осадков, распределение которых на территории СССР подчиняется географической зональности. Так, величины модулей подземного стока в пределах Европейской части СССР закономерно уменьшаются с северо-запада на юго-восток от 6—4 л/сек с 1 км² в районах Прибалтики до долей литра в степях южных районов России и Украины. Количество атмосферных осадков изменяется в том же направлении от 700—600 до 400—300 мм в год, в то время как испарение увеличивается.

Указанные черты широтной географической зональности подземного стока находят отражение и на территории Западной Сибири, где с севера на юг под влиянием тех же причин происходит уменьшение модулей от 3,0—2,5 в районе Обской губы и Енисейского залива до 0,5—0,3 в Северном Казахстане, Барабинской и Кулундинской степях.

В пределах горных сооружений Европейской части СССР, в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и в Средней Азии наблюдается вертикальная зональность подземного стока, связанная с вертикальной поясностью распределения атмосферных осадков, возрастающих с высотой местности. Увеличение модулей подземного стока с высотой наблюдается в пределах горных сооружений Кавказа, Урала, Тянь-Шаня и др. В меньшей степени это характерно для платформ, где на возвышенностях, которые, как правило, служат областями питания крупных артезианских бассейнов, по тем же причинам увеличиваются модули подземного стока (Валдайская, Средне-Русская, Приволжская и другие возвышенности).

К депрессиям рельефа модули подземного стока снижаются. Минимумы подземного стока на территории Европейской части страны связаны с Ильменской, Мещерской и другими низменностями. Однако это положение справедливо лишь для платформенных условий. В межгорных впадинах, наоборот, как правило, мощность зоны пресных вод значительно увеличивается, и эти области имеют значительные ресурсы пресных подземных вод (Рионская и Кура-Араксинская впадины на Кавказе, Ферганская и другие впадины в Средней Азии и т. д.). Это связано с тем, что области

питания подземных вод межгорных впадин значительно расширяются за счет прилегающих горных сооружений.

На фоне общей закономерной горизонтальной и вертикальной географической зональности подземного стока, которая связана с климатической зональностью и влиянием структуры земной коры, отмечается влияние на условия формирования стока гидрогеологического фактора, нарушающего общий плавный ход изолиний.

Резче всего заметно влияние местных гидрогеологических условий на формирование подземного стока в районах развития карстующихся пород, грубообломочного материала конусов выноса, аллювиальных и флювиогляциальных отложений древних переуглубленных речных долин, где наблюдается резкое увеличение модулей подземного стока и ресурсов подземных вод по сравнению с фоновыми их значениями. В районах развития карста можно встретить и практически безводные участки, например, на Крымской Яйле, на Силурийском плато (побережье Финского залива) и в других местах. Однако это явление носит узлокальный характер. Оно связано с поглощением атмосферных осадков и поверхностного стока карстовыми пустотами и приводит лишь к перераспределению подземного стока в пределах сравнительно небольших площадей.

Значение гидрогеологического фактора в формировании подземного стока нельзя рассматривать в отрыве от комплекса других физико-географических факторов. Для северо-восточной части СССР особенно большое влияние на условия формирования подземного стока оказывает явление регионального распространения многолетнемерзлых пород. Карты подземного стока позволяют обнаружить общие тенденции влияния многолетней мерзлоты на пространственные особенности распределения подземного стока по территории СССР, заключающиеся в снижении его модулей в областях, где мерзлота достигает большой мощности и имеет сплошное развитие. Наиболее четко влияние многолетней мерзлоты на формирование подземного стока проявляется в том, что в поясе сплошного ее распространения он составляет обычно меньше 10% от общего речного стока, тогда как в большинстве других районов колеблется от 20 до 40% и более.

Своеобразная черта формирования подземного стока на северо-востоке страны в области широкого распространения многолетнемерзлых пород и сурового климата — наледное регулирование, приводящее к сезонному перераспределению подземного стока в реки. Общий объем аккумулированной в наледях воды достигает в зимнее время (по данным А. С. Симакова) $31,5 \text{ км}^3$.

Весьма своеобразны условия формирования подземного стока в аридных и полуаридных районах. Здесь перед исследователями стоит сложнейший вопрос — сопряжение водного баланса конусов выноса, предгорных и межгорных впадин с окружающими горными сооружениями.

*

С помощью карт подземного стока были подсчитаны естественные ресурсы пресных подземных вод на территории около $20 \cdot 10^6 \text{ км}^2$. Они составили величину, близкую к $33\,000 \text{ м}^3/\text{сек}$, или примерно $1032 \text{ км}^3/\text{год}$, что равно 24% от общего речного стока. Эта цифра несколько занижена, если иметь в виду, что по 6% территории отсутствовали материалы для такой оценки и не были учтены некоторые глубокие водоносные горизонты пресных вод.

Естественные ресурсы подземных вод подсчитаны по отдельным естественно-историческим районам, и, пользуясь картами, их можно определить для любой заданной площади.

Анализ материалов показывает, что наиболее обеспечен ресурсами пресных подземных вод северо-запад Европейской части СССР. Зона недостаточного увлажнения сравнительно бедна ресурсами подземных и поверхностных вод. На северо-востоке Азиатской части страны доминирующий фактор — многолетняя мерзлота. Занятые ею обширные районы тоже во многих случаях бедны ресурсами пресных подземных вод, а на отдельных участках они полностью проморожены.

В гидрогеологическом плане вся территория страны может быть оценена в отношении ресурсов подземных вод по структурно-гидрогеологическому признаку.

Наибольшими ресурсами вод высокого эксплуатационного качества обладают структуры предгорных и межгорных впадин, в особенности предгорные шлейфы, сложенные валунно-галечными и песчано-гравийными образованиями. Весьма значительными ресурсами пресных подземных вод располагают краевые зоны крупных артезианских бассейнов платформенного типа, расположенные в гумидной зоне; артезианские бассейны аридной зоны обладают меньшими ресурсами, хотя относительное значение их весьма велико. Районы развития карстовых вод, вод аллювиальных отложений, особенно древних переуглубленных долин, поля развития флю-виогляциальных отложений, как правило, представляют собой надежные источники водоснабжения.

Следует указать, что не все водоносные горизонты и комплексы, которые формируют подземный сток, обладают необходимыми качествами для изъятия воды водозаборными сооружениями. Некоторые из этих горизонтов и комплексов характеризуются слабой водоотдачей или формируют столь рассредоточенный поток, что каптаж их не может обеспечить заданный расход. Поэтому в настоящее время для целей водоснабжения используются так называемые «основные водоносные горизонты», отвечающие требованиям эксплуатации.

Величина эксплуатационных ресурсов обусловлена состоянием техники бурения и водоотбора и изменяется вместе с ее развитием. Водоносные горизонты, не представляющие эксплуатационного интереса сегодня, могут приобрести его завтра с ростом потребностей в воде и усовершенствованием техники ее добычи. Следует также иметь в виду, что в условиях наблюдающейся в природе гидравлической взаимосвязи вод различных горизонтов ресурсы «слабых» водоносных горизонтов, не представляющие самостоятельного эксплуатационного интереса, должны учитываться как возможный источник питания основного горизонта в результате развивающихся при откачке процессов перетекания.

Естественные ресурсы подземных вод — это тот верхний предел, на который могут рассчитывать в своем питании постояннодействующие водозаборы с неограниченным сроком эксплуатации. Поэтому, а также для определения величины инфильтрационного питания, оценка естественных ресурсов подземных вод всегда должна опережать расчеты эксплуатационных ресурсов, как в любой другой области науки или техники теоретические разработки должны опережать конкретное проектирование. Карты подземного стока, характеризующие распределение естественных ресурсов подземных вод по территории страны, являются той необходимой основой, на которой могут развиваться работы по региональной оценке эксплуатационных ресурсов. Эти работы проводятся территориальными геологическими управлениями под методическим руководством ВСЕГИНГЕО.

Помимо естественных ресурсов подземных вод, в земной коре в процессе ее исторического развития накоплены огромные геологические запасы пресных и, особенно, соленых подземных вод. Эти воды, принимающие относительно слабое участие в общем круговороте влаги на Земле, не

учтены или учтены неполностью в водном балансе планеты. Однако в определенных структурно-гидрогеологических и климатических условиях (аридный пояс Земли) их сработка без полного восстановления за счет атмосферного питания (например, линзы пресных вод в пустынях) может в ряде случаев явиться существенным, хотя и временным дополнительным источником водных ресурсов.

Следует указать, что подземные воды используются в народном хозяйстве нашей страны крайне недостаточно, и в этом отношении мы отстаем от ряда стран. Интенсификация использования подземных вод — важная и актуальная задача.

Несмотря на большое богатство нашей страны водными ресурсами, мы должны быть рачительными хозяевами и уже сейчас принимать энергичные меры к приумножению этих богатств, рациональному их расходованию и к предотвращению возможного дефицита воды в будущем. Первоочередными мероприятиями в этом направлении должны быть установка строгого кранового режима эксплуатации на самоизливающихся артезианских скважинах, разработка мер искусственного питания водоносных горизонтов в районах с недостаточными ресурсами подземных вод, создание сети подземных водохранилищ за счет местного стока в зонах с дефицитным водным балансом (аридная и полуаридная зоны), усиление поисков высокопроизводительных методов обессоливания воды с повышенной минерализацией.

*

Следует отметить, что исследования в области подземного стока и картирование естественных ресурсов подземных вод необходимы не только при решении разнообразных практических задач. Карты подземного стока находят широкое применение и в решении научных вопросов — при изучении региональных закономерностей формирования подземных вод, их ресурсов и химического состава в зависимости от интенсивности стока, климатических, гидрологических и геологических факторов.

Один из существенных недостатков современных теоретических работ в области формирования подземных вод состоит в том, что большей частью предпринимаются попытки вскрыть гидрохимические закономерности формирования в связи лишь с вещественным составом водовмещающих пород, исключая из анализа количество растворителя, циркулирующего в породах. В лучшем случае даются только качественные оценки интенсивности подземного стока по вертикальным зонам, причем сами понятия о зонах интенсивного, замедленного и весьма замедленного водообмена нередко страдают отвлеченностью. В эти понятия не вкладывается конкретное содержание о скорости движения воды в породах, темпах водообмена и о количествах воды, участвующих в геохимических процессах в земной коре. Это служит одной из причин наблюдающихся еще резких противоречий во взглядах на происхождение подземных вод в глубоких частях стратисферы, закономерности формирования их химического состава и концентрации растворов.

Значение исследований в области подземного стока выходит далеко за рамки интересов гидрогеологической науки и ее практических аспектов. Изучение процессов подземного стока и количественная оценка этого явления находятся на стыке нескольких наук и представляют выдающийся интерес для геологии, геохимии, геофизики. Вынос и перенос химических элементов с подземным стоком — один из наиболее грандиозных процессов миграции химических элементов в земной коре. Он уже давно привлекает внимание исследователей, однако количественная его оценка тормозилась из-за отсутствия данных по подземному стоку.

Опираясь на эти данные, можно гораздо глубже разработать вопросы о роли подземного стока в гипергенных процессах, в формировании и разрушении месторождений полезных ископаемых (в том числе рудных, нефти и газа, химической денудации и аккумуляции), в формировании геотермического режима земной коры, усовершенствовать гидрохимические методы поисков полезных ископаемых по химическому выносу в реки с подземным стоком и др.

Советская гидрогеология за последние годы вплотную подошла к количественному выражению процессов подземного стока. Общий круговорот влаги на Земле предстает в единстве всех его ветвей — в атмосфере, гидросфере и литосфере. Это поднимает на новую, более высокую ступень изучение общего водного баланса и наук о Земле.

УДК 551.490