

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ПОВЫШЕННОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Кандидат геолого-минералогических наук
М. Р. НИКИТИН

Советский Союз обладает огромными ресурсами пресных вод, однако на территории страны они распределяются неравномерно, в результате чего многие районы на юге Европейской части СССР и Западной Сибири, в Казахстане и Средней Азии испытывают недостаток в воде, пригодной для водоснабжения населения, орошения и обводнения сельскохозяйственных земель. Этот дефицит можно ликвидировать или ослабить тремя основными способами: наиболее рациональным использованием местных ресурсов пресных вод (в том числе подземным «магазинированием» временного стока, повторным использованием очищенных сточных вод и т. д.), привлечением избыточных водных ресурсов из других районов, т. е. «дальними перебросками» воды и максимальным использованием местных ресурсов природных вод повышенной минерализации (имеются в виду воды с содержанием растворенных солей от 1 до 35 г/л, т. е. солоноватые и соленые).

Самый радикальный способ — дальние или межбассейновые переброски воды, однако к нему следует прибегать лишь в случаях, когда исчерпаны возможности других способов, и в таких масштабах, в каких они исчерпаны. Природные солоноватые и соленые воды могут найти прямое (без опреснения) применение взамен пресных в промышленности, при определенных условиях в сельском хозяйстве, а при искусственном опреснении — для питьевого и хозяйственного водоснабжения.

Проблема искусственного опреснения имеет несколько взаимосвязанных аспектов: технический, гигиенический, экономический и гидролого-гидрогеологический. Последний подразумевает обоснованное решение следующих вопросов: где, из какого источника, в каком количестве и какого качества (состава) можно получить исходную для опреснения воду. Следует отметить, что искусственное опреснение принципиально отличается от других мероприятий по улучшению водообеспеченности, которые лишь перераспределяют (в пространстве или во времени) уже имеющиеся ресурсы пресных вод. В результате же искусственного опреснения образуются новые их массы, которые не только включаются в водохозяйственные балансы, но и принимают участие в природном влагообороте.

Исследования по проблеме искусственного опреснения проводятся сейчас во многих странах. Большое внимание ей уделяют ЮНЕСКО и другие международные организации. В 1968 г. секретариат программы Международного гидрологического десятилетия провел в Париже совещание экспертов по эффективному использованию солоноватых и соленых природных вод, специально посвященное гидрологическому (и гидрогеологическому) аспекту этой проблемы. В качестве первоочередных задач эксперты выдвинули инвентаризацию и картирование мировых ресурсов солоноватых и соленых вод.

Наибольший суммарный количественный эффект может дать опреснение океанической воды, ресурсы которой практически неограничены. Однако для многих районов мира и для нашей страны, в частности, более важное значение имеет опреснение вод внутренних морей или соленых озер и особенно подземных вод повышенной минерализации.

Для обоснования мероприятий по использованию подземных вод повышенной минерализации необходим определенный объем специальной гидрогеологической информации. Однако исторически сложилось так, что в связи с требованиями практики внимание исследователей привлекали главным образом пресные подземные воды, распространенные на относительно небольших глубинах. В последнее время возник интерес к обычно глубоко залегающим водам высокой минерализации — рассолам, имеющим промышленное значение. Солоноватые же и соленые воды изучались скорее попутно и случайно, чем специально и систематически, а с практической точки зрения интересовали в основном бальнеологов.

Первое обобщение данных о солоноватых и соленых подземных водах СССР как возможном источнике водоснабжения было произведено институтами гидрогеологии и инженерной геологии в Москве (ВСЕГИНГЕО) и в Ташкенте (ГИДРОИНГЕО) в 1965-1969 гг. При этом были созданы первые обзорные карты и разработана методика построения более детальных карт, которые позднее составлялись в некоторых республиканских и территориальных геологических организациях. Сейчас обобщающие исследования такого направления проводит Институт водных проблем Академии наук СССР. В задачи этих исследований входят установление основных закономерностей распространения и условий залегания подземных вод повышенной минерализации, рассмотрение условий их формирования, количественная оценка эксплуатационных ресурсов, оценка перспектив практического использования солоноватых и соленых подземных вод и прогноз его возможных последствий. О некоторых результатах в этой области мы и будем говорить далее.

Распространение и условия залегания подземных вод повышенной минерализации на территории СССР схематически показаны на рис. 1. В артезианских бассейнах платформ эти воды имеют практически повсеместное распространение. В южных частях Русской платформы и Западно-Сибирской плиты, в пределах Скифской и Туранской плит они залегают часто первыми от поверхности, чередуясь с пресными водами или с рассолами (общая минерализация более 35 г/л). Севернее и восточнее этих районов солоноватые и соленые подземные воды образуют в осадочном чехле платформ выдержанную гидрогеохимическую зону, располагающуюся ниже зоны пресных вод, а на севере Западной и основной части Восточной Сибири залегают под толщей мерзлых пород, иногда — внутри этой толщи. В большинстве гидрогеологических массивов солоноватые и соленые подземные воды распространены лишь локально, но в таких районах, как Казахская складчатая страна, южное окончание Урала, юго-восточная часть Украинского кристаллического массива, — почти повсеместно. В межгорных артезианских бассейнах Средней Азии,

Казахстана, восточной части Кавказа эти воды часто сосредоточены вверху геологического разреза, но подстилаются пресными, в других районах обычно залегают на значительных глубинах, в артезианских бассейнах Дальнего Востока преимущественно отсутствуют.

Формирование подземных вод повышенной минерализации обусловлено различными, часто сложно сочетающимися процессами. Важное значение имеет степень интенсивности подземного водообмена, опреде-

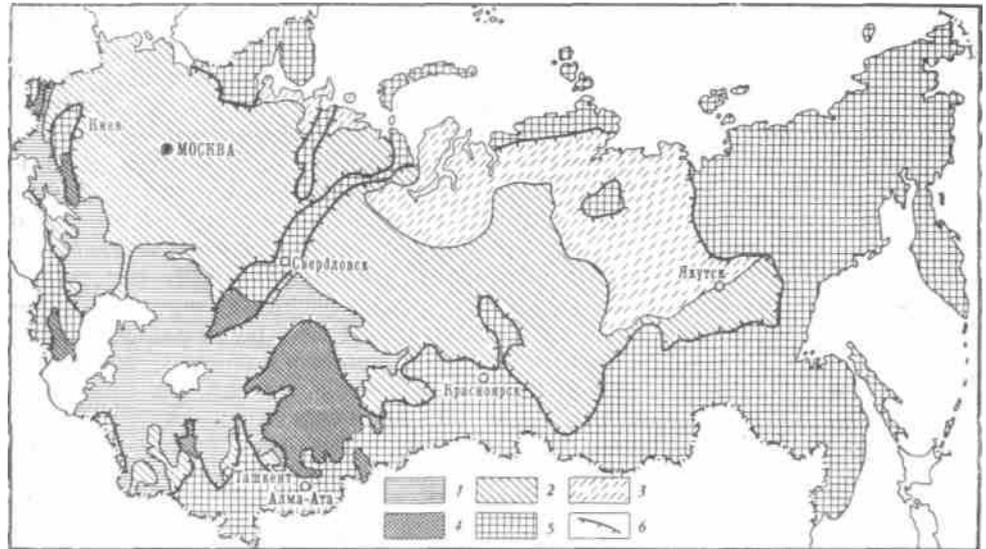


Рис. 1. Схематическая карта распространения и условий залегания соленых подземных вод на территории СССР

В артезианских бассейнах платформенных областей: 1 — преимущественно первые от поверхности Земли, 2 — преимущественно под толщей многолетнемерзлых пород; в гидрогеологических массивах: 4 — значительно распространены (в межгорных артезианских бассейнах часто залегают первыми от поверхности Земли), 5 — практически отсутствуют или распространены лишь донально (в межгорных артезианских бассейнах залегают под зоной пресных вод или отсутствуют); 6 — граница между платформенными артезианскими бассейнами и гидрогеологическими массивами

ляющая темпы возобновления геологических запасов подземных вод. Гидрогеологи по данному признаку выделяют в вертикальном разрезе земной коры три зоны: интенсивного или свободного водообмена, замедленного или затрудненного и весьма замедленного. Расчеты показывают, что время однократного водообмена для верхней зоны составляет от нескольких лет до сотен и даже тысяч, в нижней же зоне оно измеряется, по-видимому, многими миллионами лет. Таким образом, только в зоне интенсивного водообмена геологические запасы подземных вод практически возобновляемы в историческое, а не в геологическое время.

Формирование соленых подземных вод обычно связывают с зоной замедленного водообмена, однако на обширных пространствах юга нашей страны, этот процесс происходит и в зоне интенсивного водообмена. Так, расчеты показывают, что, например, в пределах Прикаспийской низменности грунтовые воды континентального засоления в хазарско-хвалынских отложениях, хотя и не образуют регионального потока, но полностью обновляются за несколько сотен лет, расходуясь при этом в основном на испарение. В определенных условиях соленые и со-

ные подземные воды могут формироваться в зоне интенсивного водообмена и в результате процессов выщелачивания.

На рис. 2 показано районирование СССР по условиям формирования подземных вод повышенной минерализации. Выделено три провинции. Юго-Западная охватывает по преимуществу области с аридным климатом. Солончатые и соленые воды здесь весьма часто залегают первыми от поверхности Земли, приурочены главным образом к зоне интенсивного

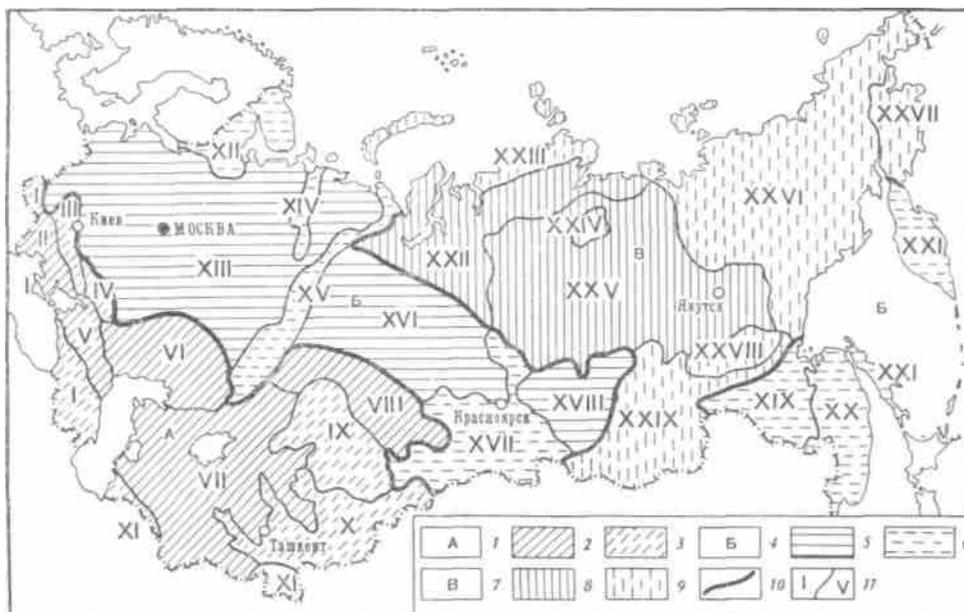


Рис. 2. Схема районирования СССР по условиям формирования подземных вод повышенной минерализации

1 — Юго-Западная провинция и ее области; 2 — плит и краевых прогибов, 3 — складчатых сооружений; 4 — Срединная провинция и ее области; 5 — плит и краевых прогибов, 6 — складчатых сооружений; 7 — Северо-Восточная провинция и ее области; 8 — плит и краевых прогибов, 9 — складчатых сооружений; 10 — граница провинций; 11 — граница и номера областей. Римскими цифрами обозначены области: I — Карпатско-Крымско-Кавказская, II — Причерноморская, III — Азово-Подольская, IV — Донецкая, V — Предкавказская, VI — Прикаспийская, VII — Туранская, VIII — Южная Западно-Сибирская, IX — Центрально-Казахстанская, X — Тяньшанско-Джунгарская, XI — Большебалханско-Копетдагско-Памирская, XII — Кольско-Карельская, XIII — Восточно-Европейская, XIV — Тиманская, XV — Уральская, XVI — Центральная Западно-Сибирская, XVII — Саянско-Алтайско-Енисейская, XVIII — Южная Восточно-Сибирская (Иркутская), XIX — Амурско-Охотская, XX — Сихотэалинская, XXI — Камчатско-Курильско-Сахалинская, XXII — Северная Западно-Сибирская, XXIII — Таймырская, XXIV — Анабарская, XXV — Северная Восточно-Сибирская, XXVI — Верхоянско-Чукотская, XXVII — Корякская, XXVIII — Алданская, XXIX — Байкальско-Становая

водообмена и в их формировании преобладающую роль играют процессы континентального засоления. Срединная и Северо-Восточная провинции характеризуются преимущественно гумидным климатом. Подземные воды повышенной минерализации формируются в зонах затрудненного и весьма затрудненного водообмена под пресными водами или, в Северо-Восточной провинции, под толщей многолетнемерзлых пород. В каждой провинции по структурно-геологическому признаку выделены области, которые делятся в некоторых случаях на подобласти и далее на районы и подрайоны.

Эксплуатационные ресурсы подземных вод принято оценивать их модулем — средним за расчетный период дебитом (в л/сек), который мо-

жет быть получен при определенных условиях с одного квадратного километра площади распространения водоносного горизонта. Суммарные ресурсы вычисляются умножением величин модуля на площадь, занимаемую водоносным горизонтом. Эта характеристика — потенциальные эксплуатационные ресурсы подземных вод — обычно дополняется данными о возможной производительности водозаборов, что позволяет судить о «крупности» планируемого водоснабжения.

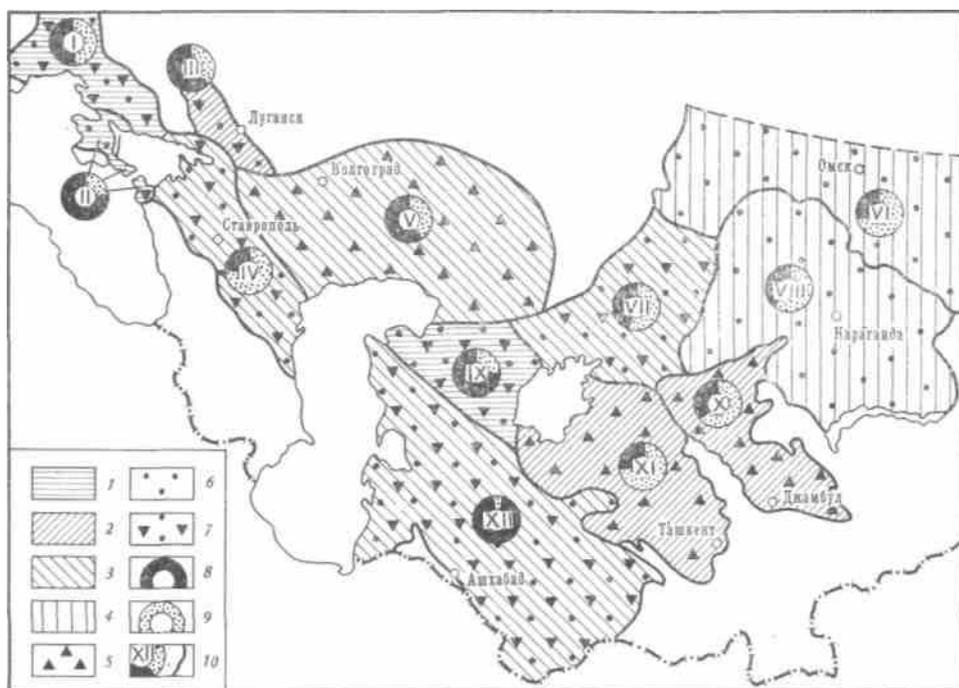


Рис. 3. Схематическая картограмма эксплуатационных ресурсов сильно солоноватых и соленых подземных вод южных районов СССР

Средний модуль потенциальных эксплуатационных ресурсов сильно солоноватых и соленых вод ($л/сек \cdot км^2$): 1 — 0,5—1,0; 2 — 0,3—0,5; 3 — 0,1—0,3; 4 — 0,05—0,1. Наибольшая возможная производительность одиночных буровых скважин ($л/сек$): 5 — преимущественно от 1 до 10—20; 6 — преимущественно до 1; 7 — весьма различная — от 1 и менее до 50 и более. Процентное соотношение суммарных потенциальных эксплуатационных ресурсов подземных вод: 8 — сильно солоноватых и соленых, 9 — пресных и слабо солоноватых, 10 — номера и границы гидрогеологических районов, к площади которых относятся числовые характеристики эксплуатационных ресурсов подземных вод. Римскими цифрами обозначены районы: I — Причерноморский, II — Северного Крыма, Керченского и Таманского полуостровов, III — Донецкого Края, IV — Северного Кавказа, V — Прикаспийский, VI — Южный Западно-Сибирский, VII — Тургайский, VIII — Центрально-Казахстанский, IX — Мангышлакено-Устюртский, X — Чу-Сарысузский, XI — Кызылдумский, XII — Каракумский

Результаты предварительной и весьма осторожной оценки эксплуатационных ресурсов сильно солоноватых (3—10 $л/л$) и соленых подземных вод южных районов СССР (Юго-Восточной провинции) отражены на рис. 3. Для территории площадью около 3 млн $км^2$ потенциальные ресурсы этих вод составляют около 90 млн $м^3/сутки$ или около 30 $км^3/год$. Примерно такой же величиной были оценены в 1964 г. потенциальные эксплуатационные ресурсы пресных и слабосоленых (1—3 $л/л$) подземных вод на той же площади. Однако это соотношение не одинаково в различных районах, что показано на рис. 3. В некоторых районах сильно солоноватые и соленые подземные воды абсолютно преобладают.

Величина потенциальных эксплуатационных ресурсов подземных вод характеризует верхний предел возможного их использования при заданных понижениях уровня и сроке эксплуатации. С практической точки зрения важно знать количество подземных вод, которое может быть реально извлечено из водоносного горизонта в пределах данного района при каких-либо определенных системах размещения водозаборов, их типе и режиме работы. Эту величину предложено называть прогнозными эксплуатационными ресурсами подземных вод, а их отношение к потенциальным ресурсам — прогнозным коэффициентом использования подземных вод (Н. Н. Биндеман, 1973). С учетом этих положений и с привлечением новых данных оценка эксплуатационных ресурсов подземных вод повышенной минерализации сейчас уточняется.

В качестве примера можно привести результаты, полученные для юго-западной части Прикаспийской низменности в пределах Калмыцкой АССР. В этом районе суммарные потенциальные ресурсы соленоватых и соленых подземных вод, по уточненным расчетам, составили около $100 \text{ м}^3/\text{сек}$, а их модуль $1,4 \text{ л/сек-км}^2$, почти в 10 раз больше, чем показанный на рис. 3 для этой же территории. Для оценки прогнозных эксплуатационных ресурсов была принята схема размещения водозаборов — одиночных скважин по квадратной сетке с шагом 6 км, что соответствует условиям обводнения пастбищ отгонного животноводства — одного из основных потребителей воды в Калмыцкой республике. Средний прогнозный коэффициент использования подземных вод при этом получился равным примерно 20 % •

Перспективы освоения подземных вод повышенной минерализации определяются главным образом прогрессом техники искусственного опреснения. Степень разработки и промышленного применения основных современных методов опреснения (дистилляция, вымораживание, электродиализ, гиперфильтрация) такова, что уже сейчас опреснение может осуществляться в больших масштабах (В. А. Клячко, 1972), однако стоимость его остается еще довольно высокой.

Наиболее целесообразно пока использовать соленоватые и слабосоленые (до 15 г/л) подземные воды, опресняя их мембранными методами (электродиализ и гиперфильтрация), для водоснабжения небольших объектов в сельском хозяйстве южных районов страны, прежде всего для обводнения пастбищ. С этой целью по расчетам Гипроводхоза СССР уже в ближайшие годы необходимо ввести в эксплуатацию несколько десятков тысяч передвижных и стационарных опреснительных установок, производительностью от 18—25 до $200 \text{ м}^3/\text{сутки}$ (через 20—30 лет их число должно достигнуть 100—200 тыс.). Такие опреснители дадут сотни миллионов рублей экономии в год только за счет разницы в стоимости привозной и опресняемой на месте воды. Кроме того, это позволит дополнительно освоить для животноводства новые большие площади пастбищ.

В некоторых случаях подземные воды повышенной минерализации могут найти применение (с опреснением) и для централизованного водоснабжения относительно крупных объектов. Перспективно при этом комплексное использование соленых подземных вод. Например, можно так представить себе схему использования апт-сеноманских соленых термальных вод в Западной Сибири: «снятие тепла» для получения электроэнергии или теплофикации — опреснение воды для водоснабжения — извлечение полезных компонентов из «остаточного рассола».

Эксплуатация подземных вод повышенной минерализации с искусственным опреснением — один из видов активного вмешательства человека в существующие природные равновесия. По-видимому, такое вмешательство должно иметь в основном положительные последствия. Оно, как уже

говорилось, позволяет искусственно создавать новые количества пресной воды и вводить их в природный влагооборот. Кроме того, оно может вызвать «самопроизвольное» образование новых геологических запасов пресных вод, поскольку освобождает для этого подземные коллекторы и в целом интенсифицирует подземный водообмен. Особенно заметны должны быть положительные последствия эксплуатации соленых грунтовых вод в аридных областях — снижение уровня грунтовых вод, уменьшение либо практическое прекращение внутригрунтового испарения и таким образом трансформация водного и солевого баланса отдельных участков или даже целых районов.

Этот процесс рассмотрен нами на примере лиманов Прикаспийской низменности — характерных для этого района бессточных понижений рельефа. Лиманы различны по структуре водно-солевого баланса, в связи с чем некоторые из них являются очагами засоления грунтовых вод («дренирующие» лиманы, по Г. Н. Каменскому, 1958), а в пределах других образуются «линзы» пресных грунтовых вод («питающие» лиманы). Добыча соленых грунтовых вод из скважин, расположенных по краям «дренирующего» лимана, вызывает трансформацию баланса влаги в зоне аэрации и водоносном горизонте и должна привести к возникновению «линзы» пресных вод. Расчеты показывают, что при площади лимана 3—4 км² и величине инфильтрационного питания 100 мм в год мощность линзы пресных вод в центре лимана за 10 лет добычи соленых вод может достигнуть 4—5 м.

К числу отрицательных последствий искусственного опреснения подземных вод можно отнести образование так называемых «остаточных рассолов». Способы их утилизации пока не разработаны, а сброс в поверхностные водоемы обычно недопустим. Однако поскольку эти рассолы нетоксичны и бактериологического загрязнения их легко избежать, возможна закачка таких рассолов в водоносные горизонты с близкими по степени солености водами.

Исследования по рассмотренным в статье вопросам продолжаются. В их задачи входит дальнейшее изучение условий и процессов формирования подземных вод повышенной минерализации, уточнение и детализация количественной оценки эксплуатационных ресурсов этих вод с учетом технических данных опреснения и его экономики, разработка принципов комплексного использования солоноватых и соленых подземных вод, прогноз воздействия их эксплуатации и опреснения на среду обитания человека. Международное сотрудничество в этих исследованиях, особенно по двум последним направлениям, несомненно повысит их эффективность.