*Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXII, вып. 2, 1971 г.*

# О ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СССР

*Н. И. Толстихин, В. А. Кирюхин*

Решающими факторами размещения подземных вод являются геологические и физико-географические. Геологические определяют размещение и строение гидрогеологических структур, а их физико-географическое положение — особенности жизни подземных вод каждой гидрогеологической структуры в отдельности.

Как известно, проекция гидрогеологической структуры на поверхность Земли определяет положение гидрогеологического района в пространстве. В настоящее время выделяется несколько типов структур первого порядка, в каждой из которых выделяются структуры второго порядка. Системы структур образуют надпорядковые мегаструктуры. Правильное выделение гидрогеологических структур позволяет обоснованно проводить гидрогеологическое районирование, на базе которого выявляются закономерности пространственного размещения подземных вод, в том числе минеральных и региональных ресурсов; зональность и поясность вод.

К структурам первого порядка относятся гидрогеологические массивы (ГМ), состоящие из фундамента и лежащих на нем четвертичных отложений, артезианские бассейны (АБ), слагающиеся из фундамента и залегающего на нем осадочного чехла, и вулканогенные бассейны (ВБ), образованные вулканическими породами, перекрывающими структуры ГМ и АБ.

Гидрогеологические массивы могут состоять из одного или нескольких структурных этажей фундамента. В зависимости от строения и гидрогеологических особенностей структурных этажей намечается довольно большое разнообразие этих массивов.

1. ГМ трещинных вод, сложенные преимущественно интрузивными породами и неслоистыми плотными трещиноватыми осадочными отложениями нижних этажей фундамента ($ГМ_1$).

2. ГМ пластово-трещинных вод, образованные слоистокристаллическими сланцами и сильно метаморфизованными слоистыми осадочными отложениями нижних этажей фундамента ($ГМ_2$).

3. ГМ пластово-трещинных и отчасти трещинно-пластовых вод, сложенные средними и верхними структурными этажами фундамента, представленными слабометаморфизованными слоистыми осадочными отложениями, приуроченными к антиклинориям. Эти ГМ близки по гидрогеологическим особенностям к типичным $ГМ_1$ и $ГМ_2$; для них характерны трещинные пластово-трещинные и карстово-трещинные воды. Отличаются же они наличием трещинно-пластовых вод и значительной слоистостью. Эти массивы предлагают называть гидрогеологическими адмассивами (ГАМ).

4. ГМ пластово-трещинных и трещинно-пластовых вод, приуроченные к синклинориям и частично к антиклинориям, сложенным слоисто-осадочными отложениями верхнего структурного этажа фундамента. Эти гидрогеологические массивы занимают промежуточное положение между ГАМ и адартезианскими бассейнами и могут быть выделены как гидрогеологические интермассивы (ГИМ).

5. ГМ трещинно-пластовых и пластово-трещинных вод, сложенные осадочными отложениями верхнего структурного яруса фундамента, собранными в синклинальные складки. Близость этих структур к артезианским и вместе с тем существенные отличия от них позволяет выделить их под названием адартезианских бассейнов (ААБ).

Схема подразделения ГМ:

$$ГМ_1 \rightarrow ГМ_2 \rightarrow ГАМ \rightarrow ГИМ \rightarrow ААБ.$$

ГМ, состоящие из одного структурного этажа фундамента, являются простыми, из нескольких этажей — сложными. Все пять типов ГМ представляют единый ряд гидрогеологических структур. В пределах этого ряда типичные массивы трещинных вод, сложенные древнейшими породами, через ряд промежуточных форм переходят к массивам, сложенным осадочными отложениями верхнего структурного этажа фундамента, где трещинные воды сочетаются с трещинно-пластовыми [7]. Кроме того, ГМ бывают высокогорные, среднегорные, низкогорные и равнинные. Существуют и другие вспомогательные классификации по размерам, форме, возрасту и т. д.

Среди артезианских бассейнов также выделяется несколько типов и прежде всего платформенные и краевые (переходные к горным сооружениям). Эти АБ противопоставляются бассейнам геосинклинальных областей, которые, в зависимости от положения в горной системе, подразделяются на межгорные, нагорные или приводораздельные, латеральные, медиальные и др. [16]. Кроме того, АБ также различаются по форме, размерам, возрасту и т. д.

Вулканогенные бассейны подразделяются по своему положению на вершинные (водораздельные); долинные котловинные и сложные. По возрасту различают молодые неоген-четвертичные вулканогенные супербассейны и супербассейны палеогенового, мезозойского и более древнего возраста, которые, в отличие от первых, можно назвать вулканогенными палеобассейнами. По размерам вулканогенные бассейны обычно уступают артезианским, форма их нередко чрезвычайно сложна.

Сочетание ГМ, АБ или тех и других с ВБ представляют сложные гидрогеологические структуры, получившие название гидрогеологических складчатых областей (ГСО). Так, система разнообразных гидрогеологических массивов с подчиненными им артезианскими бассейнами Урала и Тимана объединяется в Тимано-Уральскую ГСО. Группа вулканогенных бассейнов Малого Кавказа — в Мало-Кавказскую вулканогенную область (ВО), а артезианские бассейны Сибирской платформы — в Восточно-Сибирскую артезианскую область (АО). При этом крупные области артезианских бассейнов относятся к платформам и краевым прогибам, а гидрогеологические складчатые области — к геосинклиналям. Наиболее крупные линейновытянутые системы гидрогеологических структур объединяются в пояса артезианских бассейнов и гидрогеологических складчатых областей [17]. Крупные области вулканогенных бассейнов размещаются на востоке СССР: Тихоокеанская, Чукотская и Охотская. На юге выделяется Мало-Кавказская область [4]. На остальной территории СССР вулканогенные бассейны встречаются спорадически.

Рассматривая положение Советского Союза в гидрогеологической структуре Земли, можно отметить, что в его пределах находится советский сектор Арктического пояса, часть Бореального и Средиземноморского поясов артезианских бассейнов земного шара, а также северо-западная часть Тихоокеанского пояса вулканогенных и артезианских бассейнов. Такое положение и определяет размещение на территории СССР гидрогеологических структур, вмещающих подземные воды и обусловливающих их качественное и количественное разнообразие.

В Арктический пояс входят следующие АО: Баренцево-Печорская, Карская, моря Лаптевых, Индигиро-Колымская, Чукотская.

Внутренняя часть Арктического пояса переживает субмаринный этап развития — этап образования холодных седиментационных вод океанского генезиса. Лишь отдельные части артезианских областей, раздробленные на блоки, слегка приподняты над уровнем моря. Южная часть пояса недавно вышла на сушу и находится на стадии замещения морских седиментационных вод континентальными. Изучение показало, что в ее пределах широко развиты соленые, а местами и рассольные воды.

Для всех АБ Арктического пояса характерны отрицательно-температурные, весьма холодные и очень холодные воды с температурой ниже 0 и от 0 до 4° С, а для их субаэральных частей и прибрежной части шельфа — развитие зоны многолетней мерзлоты. В отношении нефтегазоносности эти бассейны весьма перспективны.

АБ Арктического пояса обычно отделяются один от другого гидрогеологическими складчатыми областями (например, Новоземельской и Таймырской) или подводными хребтами (Ломоносова, Менделеева), но они могут и сливаться один с другим. ГСО Арктического пояса содержат скудные ресурсы подземных вод, поскольку они повсеместно охвачены мерзлой зоной и местами покрыты ледниками и льдами различного генезиса. Судя по проявлениям, молодая вулканическая деятельность в пределах зоны растяжения литосферы, прослеживающейся от Исландии через Шпицберген до Берингова пролива [1], отразится в локальных изменениях физических и химических свойств подземных вод и в общей гидрогеологической обстановке.

Бореальный пояс артезианских бассейнов Земли наиболее хорошо сформирован. В состав его входят крупнейшие АО: Европейская (восточная часть), Западно-Сибирская и Восточно-Сибирская. Отделяются они одна от другой поднятиями фундамента Тимано-Уральской ГСО, Приенисейской, Верхояно-Чукотской и другими складчатыми областями.

Юг СССР охватывает сравнительно небольшая часть Средиземноморского пояса артезианских бассейнов. Сюда относятся северная и восточная окраины Черноморской АО, бóльшая часть которой находится под уровнем моря. Далее следует Каспийская АО, включающая Прикаспийский, Средне-Каспийский и Южно-Каспийский АБ. Прикаспийский АБ отнесен к Каспийской АО условно. В палеозойское и мезозойское время он располагался на юго-восточной окраине Русской платформы и формировался как бассейн Восточно-Европейской АО, но в кайнозойское время он причленился к Каспийской АО и теперь занимает двойственное положение. В Средней Азии расположена Аральская и Балхашская АО.

Средиземноморский пояс АБ отделяется от Бореального поднятиями Украинской, Донецкой и Казахской ГСО. Далее на восток в пределах пограничной южной территории СССР протягиваются ГСО Южной, Восточной Сибири и юга Дальнего Востока. Артезианские бассейны и артезианские области Средиземноморского пояса разделяются поднятиями фундамента, которые нередко выходят на поверхность и образуют

гидрогеологические складчатые области: Карпатско-Крымско-Кавказскую, Копетдагскую, Памирскую, Тяньшанскую и др.

Гидрогеологическое строение на востоке СССР завершается Тихоокеанским поясом молодых АБ и ВБ Корякско-Камчатско-Курильской ГСО, которые находятся еще в стадии формирования. Продолжение Тихоокеанского пояса прослеживается к югу в Японии и на северо-восток в США. В состав Тихоокеанского пояса входят также Охотская и Беринговая АО, которые занимают промежуточное положение, находясь на стыке с Бореальным поясом.

Влияние физико-географических факторов на размещение подземных вод чрезвычайно разнообразно. Оно сказывается на водообильности структур, минерализации, составе и режиме их вод, на температуре и фазовом состоянии подземных вод. Остановимся прежде всего на температурном факторе, который обусловил особенности размещения всех трех фаз подземных вод на территории СССР. По данным Н. М. Фролова и В. Н. Седова [20], на глубине 25 *м* от поверхности Земли на крайнем севере Сибири температура подземных вод равна минус 10—13° С. Пресные подземные воды здесь и значительно южнее скованы многолетней мерзлотой. Водоносные горизонты АБ и водоносные зоны трещин выветривания разнообразных ГМ промерзлены на глубину до нескольких сот метров. Например, Анабарский ГМ промерзлен почти целиком и практически лишен подземных вод в жидкой фазе. Такие глубокопромерзленные ГМ можно назвать, согласно О. Н. Толстихину [19], криологическими массивами (КМ). К ним можно отнести также некоторые КМ Верхояно-Чукотской ГСО и приподнятые среднегорные КМ Алданской ГСО [13]. Глубина залегания подмерзлотных вод в ГМ непосредственно связана с характером и мощностью мерзлой зоны. Промерзание обусловило возникновение криогенных бассейнов подмерзлотных напорных трещинных вод на северо-востоке Якутии и в Магаданской области. Стадии промерзания артезианских бассейнов в области развития мерзлой зоны, как и ГМ, различны. Одни промерзлены до постилающего чехол фундамента и лишены пригодных для эксплуатации подземных вод, другие же промерзлены лишь отчасти, их глубокие водоносные горизонты можно использовать для водоснабжения. Имеются и такие АБ, где пресные водоносные горизонты промерзлены нацело, а залегающие под мерзлой зоной соленые воды и рассолы служат барьером, ограничивающим распространение промерзания вглубь. Обычно в этих условиях для подмерзлотных рассолов и соленых вод, находящихся непосредственно на контакте с мерзлой зоной и глубже, характерны отрицательные температуры — от 0 до —3,5° С. Мощность зоны отрицательно-температурных подмерзлотных вод в жидкой фазе (криопэгов) достигает сотен метров. Они широко развиты на севере Якутского и Тунгусского АБ, а также в Хатангском и других АБ Арктического пояса.

Не останавливаясь на особенностях жизни подземных вод области развития мерзлой зоны, известных из ранее опубликованных работ [2, 5, 18], отметим некоторые характерные черты изменения температуры подземных вод вне области развития мерзлой зоны.

В южном направлении температура подземных вод на глубине 25 *м* от поверхности Земли постепенно повышается и на южных окраинах СССР — Средней Азии и Закавказья достигает 15—20° С. Следовательно, подземные воды АБ Средиземноморского пояса наиболее теплые.

В горных районах вполне отчетливо выступает вертикальная поясность распределения температур, выражающаяся в постепенном их понижении вверх по склону гор. В результате снижения среднегодовой температуры воздуха ниже нуля в высокогорных районах Средней Азии и

Кавказа развилась мерзлая зона и часть подземных вод перешла в твердую фазу. Мощность мерзлой зоны в горных районах возрастает в северном направлении. На севере Читинской области, например, она достигает 800 *м* и более.

Высокие температуры воздуха в сочетании с сухостью способствовали образованию в южных районах страны с достаточно расчлененным рельефом мощной зоны аэрации. Так, в Горном Крыму, на Бадхызе и Карабиле мощность ее достигает 200 *м* и более и, следовательно, широко распространяется в глубину парообразная фаза подземных вод.

Климатическая зональность выражается также в смене с севера на юг мерзлой зоны гумидной и южнее аридной и в изменении минерализации грунтовых вод: от очень пресных на севере до соленых и рассольных на юге. Вместе с тем меняется и их состав: от зоны гидрокарбонатно-кремнеземных вод на крайнем севере через воды гидрокарбонатные кальциевые и далее на юг в зоне сульфатно-хлоридных вод неоднородной минерализации и пестрого химического состава. Поскольку артезианские воды получают свое питание через грунтовые воды, они также подчиняются климатической зональности. Так, на севере СССР, где распространены пресные грунтовые воды, артезианские воды также пресные. Мощная зона таких вод характерна для АБ Бореального пояса, где условия увлажнения особенно благоприятны [10, 11]. Наоборот, в пределах Каспийской и Аральской АО как грунтовые, так и артезианские воды преимущественно соленые.

Если проследить за минерализацией и составом подземных вод артезианских бассейнов Забайкалья и соседней с ним Монгольской народной республики, то можно заметить, что в северном Забайкалье грунтовые и артезианские пресные воды прослеживаются до самого фундамента. В южном же Забайкалье и в Монголии они более высоко минерализованы и наряду с пресными здесь встречаются солоноватые, соленые воды и даже слабые рассолы в глубоких частях АБ [12, 14]. Вертикальная поясность горных стран сказывается в увеличении минерализации, изменении состава подземных вод, их режима, водообильности пород от водоразделов вниз по склонам к подошве гор. В отдельных случаях отмечается и вертикальная гидродинамическая и гидрохимическая зональность, выражающаяся в смене минерализации, химического состава, температуры вод, гидрогеологических свойств пород по вертикали вглубь.

Из сказанного ясно, что подземные воды гидрогеологических структур равнинных районов подчиняются законам широтной зональности, а горных — высотной поясности [6, 15].

Велика роль палеогеологических условий в размещении подземных вод разного состава на территории СССР. Наиболее концентрированные рассолы встречаются в АБ и ГСО, сложенных соленосными породами: Европейская и Восточно-Сибирская АО, Аму-Дарьинский и Южно-Таджикские АБ. Соленые воды господствуют в АБ, сложенных морскими несоленосными отложениями, например, в Западной Сибири. Пресные воды преобладают в АБ, сложенных пресноводными, угленосными континентальными отложениями: бассейны Прибайкалья и Забайкалья. Пресные воды характерны также для древних, хорошо расчлененных гидрогеологических массивов, расположенных в гумидном климате — Алтай, Саяны и др.

Геологические массивы Карпатско-Крымско-Кавказской ГСО, недавно поднявшиеся над уровнем моря и сложенные в основном мезозойскими отложениями, прикрытыми на периферии породами палеогена и неогена, характеризуются заметными нарастанием минерализации и изменением состава вод с глубиной до соленых вод включительно. В этих

областях вертикальная зональность выражена резко, что обусловлено как составом, так и молодым возрастом пород.

На востоке и юге СССР выделяются области, где действуют сейсмические и вулканические факторы, которые, накладываясь на гидрогеологические структуры разного типа и состава, обусловливают закономерное развитие в их пределах разнообразных углекислых и азотных термальных минеральных вод.

Закономерности развития подземных вод на территории СССР позволили наметить в 1937 г. три провинции минеральных вод, которые в последующих работах были подтверждены и дополнены [3, 8]. Помимо трех провинций (углекислых, азотных термальных и азотно-метановых артезианских вод) выделены апровинциальные воды. К ним относятся радоновые воды существенно кислых интрузивных пород, которые встречаются как в первой и второй провинциях, так и в апровинциальных районах, сложенных гранитами (Карелия, Украинский массив, Урал и др.). Многочисленные радоновые источники открыты в последние годы в Забайкалье. К апровинциальным относятся также разнообразные железистые воды, встречающиеся во всех трех провинциях и в апровинциальных районах.

Остановимся кратко на ресурсах подземных вод. Как следует из новейшей сводки и карты подземного стока СССР [9], естественные ресурсы подземных вод зоны интенсивного водообмена составляют лишь 32924 *м*$^3$/*сек*, к тому же распределение ресурсов неравномерно и во многих районах недостаточно. На севере Сибири ресурсы пресных подземных вод большей частью промерзлы, а на юге СССР во многих АБ преобладают соленые воды — пригодных для питьевого водоснабжения почти нет. В связи с этим в ближайшие годы необходимо создать комплексные гидролого-гидрогеологические заповедники, водные ресурсы которых должны находиться под охраной государства, тщательно учитываться и экономно расходоваться. Уже в настоящее время для водоснабжения ряда городов вода подается по водопроводам и каналам на большие расстояния. Централизованное водоснабжение городов и населенных пунктов развивается путем создания крупных водопроводных систем: каналы Москва—Волга, Иртыш—Караганда, Каракумский, водопроводы Бакинский, Ялтинский и др. В будущем длина таких систем, их количество и общая протяженность несомненно увеличатся. В связи с ростом водопотребления создание государственных водных заповедников совершенно необходимо. Такими заповедниками должны стать озеро Байкал, водой которого можно напоить все население Сибири; Кубинский АБ на Кавказе, снабжающий г. Баку, Карстовый бассейн Горного Крыма и др. Одна из важнейших задач наших дней — выявить наиболее важные заповедники и передать их, пока еще не поздно, под охрану государства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воронов П. С. Очерки о закономерностях морфометрии глобального рельефа Земли. Наука, 1968.

2. Гуревич М. С., Зайцев И. К. и Толстихин Н. И. Региональные гидрохимические закономерности артезианских бассейнов СССР. Тр. лабор. гидрогеолог. проблем, т. 16. 1959.

3. Дзенс-Литовский А. И. и Толстихин Н. И. Краткая пояснительная записка к схематической карте природных минеральных вод СССР. Госгеолиздат, 1946.

4. Долуханова Н. И., Толстихин Н. И. Схема структурно-гидрогеологического районирования Армянской ССР. Изв. АН АрмССР. Т. XX, № 5—6, 1967.

5. Зайцев И. К. и Толстихин Н. И. Основы структурно-гидрогеологического районирования СССР. Тр. ВСЕГЕИ, т. 101, 1963.

6. Зайцев И. К. Основные гидрогеологические регионы СССР. Тр. ВСЕГЕИ, т. 134, 1968.
7. Зеленкевич А. А. Гидрогеологические структуры и водоносные комплексы на территории Северо-Востока СССР. Мат. по геол. и полезн. ископ. СВ СССР, вып. 17, 1964.
8. Иванов В. В., Овчинников А. М., Яроцкий Л. А. Карта подземных минеральных вод СССР. Госгеолтехиздат, 1960.
9. Куделин Б. И., ред. Подземный сток на территории СССР. МГУ, 1966.
10. Ланге О. К. Подземные воды СССР. Ч. I. МГУ, 1959.
11. Ланге О. К. Подземные воды СССР. Ч. II. МГУ, 1963.
12. Маринов Н. А., Попов В. Н. Гидрогеология Монгольской народной республики. Гостоптехиздат, 1963.
13. Павлова О. П., Чижова Н. И. Особенности формирования и режима подземных вод нижнекембрийского и артейского водоносных комплексов в области развития многолетнемерзлых пород на примере Алданского района. В сб. «Мерзлотные исследования», МГУ, 1964.
14. Попов В. Н., Толстихин Н. И. Минеральные воды МНР и их аналоги в СССР. Материалы по геологии Монгольской народной республики. Недра, 1966.
15. Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод. Гидрометиздат, 1969.
16. Пустовалова Г. И., Толстихин Н. И. Схема структурно-гидрогеологического районирования Кавказа. Изв. ВУЗов. Геология и разведка, № 11, 1968.
17. Толстихин Н. И. Пояс артезианских бассейнов Арктики. В сб. «Мерзлотно-гидрогеотермические и гидрогеологические исследования на востоке СССР», вып. III. Наука, 1967.
18. Толстихин Н. И., Вельмина Н. А., Ефимов А. И. Гидрогеология области многолетнемерзлых пород Советского Союза. Докл. на Международной конференции по мерзлотоведению. АН СССР, 1963.
19. Толстихин О. Н. Об одном своеобразном типе артезианских бассейнов зоны многолетнемерзлых пород. ДАН СССР, т. 163, № 6, 1965.
20. Фролов Н. М. Гидрогеотермия. Недра 1968.