

**Г.В.КУЛИКОВ А.В.ЖЕВЛАКОВ
С.С.БОНДАРЕНКО**

МИНЕРАЛЬНЫЕ ЛЕЧЕБНЫЕ ВОДЫ СССР

СПРАВОЧНИК



МОСКВА "НЕДРА" 1991

Отредактировал и опубликовал на сайте : PRESSI (HERSON)

ББК 26.22
К 90
УДК 553.7(47+57) (031)

Организация-спонсор — Северо-Кавказское производственное
геологическое объединение

Рецензент д-р геол.-минер. наук *В. М. Швец*

Куликов Г. В., Жевлаков А. В., Бондаренко С. С.
К 90 Минеральные лечебные воды СССР: Справоч-
ник.— М.: Недра, 1991.—399 с.: ил.
ISBN 5-247-01595-9

Приведены состав, бальнеологические свойства и критерии
оценки минеральных лечебных вод. Описаны их основные
типы, классификация, условия формирования и распростра-
нения. Рассмотрены методики гидрогеологических исследований
и каптаж минеральных вод, охрана их от загрязнения и исто-
щения. Уделено внимание методам исследований и использо-
ванию лечебных минеральных вод.

Для гидрогеологов, геологов, бальнеологов, специалистов,
занимающихся использованием минеральных вод в лечебных
целях.

К $\frac{1804080000-127}{043(01)-91}$ 48—91

ББК 26.22

ISBN 5-247-01595-9

© Г. В. Куликов, А. В. Жевлаков,
С. С. Бондаренко, 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

В системе народнохозяйственных мероприятий, направленных на решение социальных задач, большое место занимает дальнейшее расширение сети действующих и строительство новых бальнеологических здравниц и профилактических лечебных учреждений, предприятий промышленного розлива для более полного обеспечения населения лечебными минеральными водами. Остро поставлены задачи охраны природы и рационального использования ее ресурсов. В этом отношении важное значение приобретают мероприятия, направленные на охрану лечебных минеральных вод от загрязнения и истощения.

В СССР эксплуатируется более 550 месторождений минеральных вод. Благодаря возросшим техническим возможностям стали доступными для использования минеральные воды, залегающие на глубинах 2—3 км.

В справочнике дается физико-химическая характеристика всех типов лечебных минеральных вод; критерии их бальнеологической оценки, существующие представления о закономерностях формирования и распространения.

Приведены схемы гидрогеологического районирования минеральных вод СССР, выполненные на основе комплексного анализа геологического строения, гидрогеологических и физико-географических условий и истории развития различных регионов страны. Выделенные провинции древних и молодых платформенных областей, древних и молодых горно-складчатых сооружений характеризуются присущими им особенностями формирования и распространения минеральных вод. Гидрогеологическая их изученность крайне не равномерна. Это определяется, с одной стороны, различной сложностью геологического строения и гидрогеологических условий, с другой — степенью хозяйственной освоенности тех или иных территорий страны. Европейская часть СССР характеризуется высокой степенью изученности минеральных вод. Восточные и северо-восточные регионы страны изучены слабо и обладают огромными перспективами выявления новых месторождений лечебных минеральных вод: углекислых, сероводородных, радоновых, иодобромных, железистых, кремнистых и других.

В справочнике приведены типизации месторождений минеральных вод по условиям формирования их ресурсов

и методические требования к проведению поисково-разведочных работ.

Развитие процессов загрязнения минеральных вод требует осуществления неотложных мер по их охране. Около 300 курортов и санаториев базируется на использовании минеральных вод. Более 120 месторождений минеральных вод эксплуатируется заводами розлива [9]. Мощность многих курортов резко увеличивается. Формируются города-курорты с промышленными объектами, часто не имеющими отношения к курортам, т. е. не связанными с их обслуживанием. Вокруг курортов развивается сельскохозяйственное производство с применением удобрений и ядохимикатов. В этих условиях наблюдается интенсивное загрязнение минеральных вод. В справочнике нашли отражение задачи оценки условий естественной защищенности месторождений минеральных вод от загрязнения и истощения и основные мероприятия по их охране.

В справочнике не приводятся гидрогеологические сведения и данные, содержащиеся в действующих справочниках, руководствах, а также методических инструкциях, рекомендациях по проведению различных видов гидрогеологических работ (опытные исследования в скважинах, определение гидрогеологических параметров, изучение режима подземных вод и оценка их эксплуатационных ресурсов, проведение гидрогеохимических, геофизических, термодинамических, буровых и других видов работ).

Отдельные вопросы в справочнике освещены недостаточно полно, что связано с низким уровнем знаний по этим вопросам. При отсутствии по некоторым вопросам единой точки зрения, в справочнике приводится материал, отражающий взгляды различных исследователей. В соответствии со стремлением удовлетворить в первую очередь запросы гидрогеологов, занимающихся изучением минеральных вод, авторы справочника привели материал, который непосредственно относится к вопросам типизации минеральных вод, принципам их районирования, освещению условий их формирования и распространения, оценке перспектив выявления новых месторождений.

Учитывая, что опыт подготовки справочника по минеральным водам предпринят впервые, авторы не исключают наличие недостатков. За все критические замечания они будут весьма благодарны.

1.1. Понятие о минеральной воде

Минеральные воды — это такие природные воды, которые обладают лечебными свойствами. Первыми научными исследованиями, в начале XIX в., было установлено, что лечебные свойства минеральных вод обусловлены их химическим составом и температурой.

На совещании бальнеологов, состоявшемся в 1911 г. в г. Наугейме (ФРГ), было решено считать минеральной такую воду, в которой содержание твердых растворенных веществ составляет более 1 г/л или содержатся углекислый газ и другие ценные фармакологические ингредиенты, или вода имеет температуру более 20°C. Следует отметить, что критерий общей минерализации (1 г/л) для минеральных вод был установлен произвольно и не имеет научного обоснования, однако на практике он применяется многими странами. Советский бальнеолог Э. Э. Карстенс минеральной водой считал такую воду, которая содержит некоторое более значительное количество твердых или газообразных частей или же элементы, редко встречающиеся в пресных водах.

В. В. Красинцева, М. А. Хачванкян, В. И. Бахман указали на главные компоненты, определяющие лечебные свойства минеральных вод: 1) растворенные в воде газы (CO_2 , H_2S , Rn); 2) микроэлементы (Вг, I, В, As и другие); 3) температура воды.

Г. А. Невраев впервые обратил внимание на возможное лечебное значение различных органических веществ в минеральных водах. Г. А. Невраев и В. В. Иванов лечебными минеральными водами считают природные воды, содержащие в повышенных концентрациях те или иные минеральные (реже органические) компоненты и газы и (или) обладающие какими-либо физическими свойствами (радиоактивность, реакция среды и др.), благодаря которым эти воды оказывают на организм человека лечебное воздействие, в той или иной степени отличающееся от действия пресной воды.

В соответствии с этим определением та или иная минеральная вода должна характеризоваться конкретными критериями концентраций химических компонентов и физическими свойствами.

А. Н. Огильви отмечал, что бальнеолог рассматривает воду с точки зрения возможности использования ее для определенного воздействия на человеческий организм. На этом основании он считает, что минеральной водой является такая вода, которая благодаря своим физико-химическим свойствам оказывает на человеческий организм то или другое специфическое физиологическое воздействие.

А. М. Овчинников к минеральным водам относил такие природные воды, которые оказывают на организм человека лечебное действие, обусловленное либо повышенным содержанием полезных биологически активных компонентов, их ионным или газовым составом либо общим ионно-солевым составом воды.

Таким образом, основным показателем для отнесения тех или других природных вод к минеральным являются их лечебные свойства. На этом основании минеральными следует считать такие природные воды, которые оказывают на организм человека лечебное действие благодаря своим физическим и химическим свойствам. Физические и химические свойства минеральных вод определяются многими признаками: общей минерализацией M , ионно-солевым, газовым составом и газонасыщенностью, содержанием фармакологически активных (минеральных и органических) компонентов, радиоактивностью, реакцией водной среды и температурой.

В СССР в соответствии с ГОСТ 13273—88 «Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые» к минеральным водам относятся воды с общей минерализацией не менее 1 г/л. Следует отметить, что установленный критерий (1 г/л) экспериментальными и клиническими данными до сих пор не обоснован. К минеральным водам относятся также воды с минерализацией менее 1 г/л, но при наличии в них фармакологически активных компонентов. В инструкции [8] под лечебными минеральными принято понимать подземные воды, содержащие в повышенных концентрациях минеральные (реже органические) компоненты и газы или обладающие какими-либо особыми физическими свойствами (радиоактивность, повышенная температура и др.), благодаря чему эти воды оказывают на организм человека лечебное воздействие при наружном или внутреннем применении.

1.2. Состав минеральных вод

Неорганические минеральные вещества. Подземные минеральные воды содержат многие химические элементы, которые находятся в виде простых диссоциированных элементов

и в форме ассоциированных соединений. Наиболее распространенными микрокомпонентами, определяющими химический тип вод, по М. Г. Валяшко, являются катионогенные (Ca, Mg, Na, K, Fe) и анионогенные (Cl, S, C, Si) элементы. Для минеральных лечебных вод важное значение приобретают микрокомпоненты, оказывающие бальнеологическое воздействие на организм человека даже при очень незначительном их содержании: As, Fe, I, Br, B, F, H₂S, H₂SiO₃ и другие.

В. В. Иванов и Г. А. Невраев подразделяют микрокомпоненты по бальнеологическому воздействию и по условиям их нахождения в минеральных водах на 2 группы.

1. As, Fe, Co, Cu, Mn и другие тяжелые металлы.
2. I и Br.

Кальций и магний, принадлежащие к числу главных компонентов минеральных вод, являются переходными к элементам-комплексобразователям.

Максимальное содержание магния наблюдается в рассолах галогенных формаций юго-восточной части Русской платформы, в Средней Азии, соответствующих испарительной концентрации морской воды на стадиях ее сгущения. Увеличение кальция происходит на стадии метаморфизации хлоридных магниевых и хлоридных магниевонариевых рассолов в кальциевонариевые при значительном повышении их минерализации.

Щелочные элементы Na и K в максимальных концентрациях содержатся также в подземных водах галогенных формаций, в рассолах артезианских бассейнов краевых прогибов, а также Северо-Каспийской, Припятской, Ангаро-Ленской и других межгорных впадин.

С увеличением минерализации подземных вод степень закомплексованности химических компонентов увеличивается: Na и Cl до 50%; Ca, Mg и SO₄ до 95%. В рассолах концентрация свободных ионов минимальна [13].

В большинстве минеральных вод содержатся простые катионы (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, H⁺), анионы (Cl⁻ и F⁻), а также анионы в соединениях с кислородом и водородом (SO₄²⁻, CO₃²⁻, HCO₃⁻) и сложные комплексные соединения (CaSO₄⁺, CaHCO₃⁺, CaCO₃⁺, CaCl⁺, CaCl₂⁰, MgSO₄⁰, MgHCO₃⁺, MgCO₃⁰, MgCl⁺, MgCl₂⁰, NaCl⁰, NaHCO₃⁰ и т. д.).

В слабоминерализованных и маломинерализованных водах содержатся в основном: HCO₃⁻, SO₄²⁻, Ca, Mg, Cu, Zn, Mo и др. Термальные воды содержат преимущественно: F, Si, Fe, Al, Mn, B, Ti, Cr, Rb, As, V, Sb, Ge, Ga. В крепких рассолах растворены: Cl, Br, Ca, K, Sr, Ba, Ra, Li, Ag, Tl, Pb, La.

Радиоактивные элементы. В минеральных водах содержат-

ся радиоактивные элементы уранового, ториевого и актинового ряда. Наиболее широкое распространение имеют элементы уранового ряда: уран I, радий и радон. Из древних радиоактивных элементов этого ряда в минеральных водах отмечено присутствие урана X, иония, урана II и короткоживущих продуктов распада радона: радия A, радия B, радия C, радия D и радия E.

В отдельных типах минеральных вод (воды нефтяных месторождений) отмечается значительное содержание элементов ториевого ряда: тория X и мезотория. В основных типах минеральных вод торий, радиоторий, торон, торий A, торий B и торий C установлены в очень малых количествах.

Из радиоактивных элементов актинового ряда в минеральных водах содержатся: актиний, актиний X и реже актиноуран и актинон.

Уран — родоначальник наиболее важного ряда радиоактивных элементов. Его период полураспада равен $4,5 \times 10^9$ лет. Уран в минеральных водах находится в виде ионов уранила UO_2^{2+} и U^{4+} , их гидратированных форм и уранорганических соединений. Его содержание варьирует в очень больших пределах от 10^{-8} до 10^{-1} г/л. Главный источник поступления урана в подземные воды — горные породы. Предельно допустимые концентрации урана в питьевых водах по ГОСТ 13273—88 не должны превышать 1,8 мг/дм³. Воды относятся к урановым при его содержаниях более $3 \cdot 10^{-5}$ г/л.

Радий образуется в результате радиоактивного распада урана. Радиоактивное равновесие $Ra/U = 3,4 \cdot 10^{-7}$. Период полураспада радия составляет 1590 лет. Он является аналогом щелочноземельных элементов магния, кальция и бария и обладает резко выраженными основными свойствами, вследствие чего в свободном виде не встречается. Содержание радия в минеральных водах колеблется в пределах 10^{-13} — 10^{-8} г/л. Воды с содержанием радия более $1 \cdot 10^{-11}$ г/л называются радиевыми.

Обогащение вод радием определяется многими факторами: содержанием радия в породе, химическим составом воды, временем соприкосновения воды и породы. Высокая минерализация вод, присутствие в их составе хлоридов щелочноземельных элементов (при отсутствии сульфат-иона) благоприятствуют нахождению радия в растворе.

В высокоминерализованных хлоридных кальциевых водах, циркулирующих в глубоких платформенных отложениях, установлены наиболее высокие содержания радия 10^{-10} ÷ 10^{-9} г/л.

На участках разгрузки вод, содержащих барий, при наличии железо-марганцевых образований, травертинов, глинистых отложений и торфяников происходят процессы вторичного накопления радия, приводящие к формированию эманулирующих коллекторов.

Наиболее изучены непосредственно применяемые в бальнеологии радиоактивные элементы уранового ряда — радон и короткоживущие элементы распада.

Установлено, что содержания радона в минеральных водах обусловлены не распадом радия, присутствующего в растворенном состоянии, а поступлением его из горных пород, обогащенных радиоактивными элементами в процессе эманирования.

Радон — благородный газ с периодом полураспада $T_{1/2} = 3,825$ дня. Равновесие радона с радием устанавливается за 30 сут. В лечебном отношении основное значение в минеральных водах имеет излучение радона. В некоторых случаях (в проточных бассейнах) определенный интерес представляют также короткоживущие продукты распада радона — RaA ($T_{1/2} = 3,05$ мин), RaB ($T_{1/2} = 26,8$ мин) и RaC ($T_{1/2} = 19,7$ мин).

Органические вещества. В подземных минеральных водах содержатся разнообразные растворенные органические вещества: углеводы, липиды, белки. Содержание их определяется геологическими и физико-географическими условиями. Изучение водорастворимых органических веществ приобретает большое значение в связи: 1) с оценкой их бальнеологической роли в минеральных водах; 2) с определением их предельно допустимых концентраций как загрязнителей минеральных вод; 3) с оценкой степени их участия в биохимических и геохимических процессах, в образовании органических миграционных форм химических элементов, оказывающих влияние на формирование химического состава минеральных вод.

Максимальное содержание органических веществ, представленных летучими соединениями (уксусная, муравьиная, масляная, пропионовая и другие кислоты), отмечено в подземных водах нефтяных и газовых месторождений.

Количество растворенных органических веществ $C_{орг}$ в минеральных водах зависит от содержания рассеянного органического вещества в горных породах водовмещающих толщ, скоплений углеводородных залежей, интенсивности водообмена водонапорной системы, температуры, окислительно-восстановительной обстановки, химического состава вод и глубины их залегания, активности микробиологических про-

цессов (биохимических превращений органических веществ).

Газы. Минеральные лечебные подземные воды содержат в растворенном состоянии разнообразные газы. В. И. Вернадский выделил 6 классов природных вод по основному составу содержащихся в них газов: 1) кислородные; 2) углекислые; 3) азотные; 4) метановые; 5) сероводородные; 6) водородные.

Газы в подземных водах имеют различное происхождение, В. В. Белоусов предложил классификацию газов по их генезису: А — газы биохимического происхождения (CH_4 , CO_2 , N_2 , H_2S , H_2 , O_2); Б — газы воздушного происхождения (N_2 , O_2 , CO_2 , Ne , Ar); В — газы химического происхождения (CO_2 , H_2S , H_2 , CH_4 , CO , N_2 , HCl , HF , SO_2 , Cl , NH_3). Последние подразделяются на: а) газы метаморфического происхождения; б) газы природных химических реакций и в) газы радиоактивного происхождения (He , Rn).

Вместе с тем, как видно из классификации, одни и те же газы могут быть различного происхождения. Так, широко распространенные в минеральных водах газы N_2 , O_2 , CO_2 , CH_4 могут быть метаморфического, воздушного и биохимического происхождения.

Бальнеологическая практика, придавая исключительное значение газовому составу минеральных вод, выдвинула требование первоочередного изучения и выявления углекислых, сероводородных и радоновых вод. В минеральных водах в наибольшем объеме содержатся углекислый газ, азот и сероводород; радон и инертные газы (He , Ar , Xe , Ne) являются сопутствующими. Радоновые воды имеют локальное распространение.

Газы биохимического происхождения (CH_4 , H_2S , CO_2 , N_2 , H_2 , O_2) и тяжелые углеводороды (ТУ) образуются в результате разложения органических веществ и представляют собой продукты жизнедеятельности микроорганизмов. При разложении органических веществ в анаэробной среде, бедной кислородом, выделяются главным образом CH_4 и CO_2 . При повышенных температурах, там, где метанообразующие микробы погибают, могут развиваться процессы водородного брожения как результат деятельности водородообразующих микробов, приспособленных к этим условиям. Метановые газы, образующиеся в приповерхностных условиях или на значительных глубинах, по составу не отличаются.

Образование свободного азота и аммиака в анаэробной среде — результат деятельности денитрифицирующих бактерий, вызывающих восстановление нитратов. Процессы образования азота протекают интенсивно при разложении живот-

ных остатков, характеризующихся более высоким содержанием белковых веществ. Как отмечал А. А. Сауков, связь азота с гелием объясняется накоплением инертных газов в процессе разрушения углеводородных залежей.

Сероводород в анаэробной среде возникает за счет деструктурирующих бактерий, разлагающих белки и восстанавливающих природные сульфаты. Сравнительно низкое содержание сероводорода (доли процента) в метановых газах может объясняться очень высокой растворимостью в воде.

Преобладание CH_4 и CO_2 среди газов биохимического происхождения объясняется большим количеством исходного материала в подземной гидросфере и более высокой приспособленностью микроорганизмов, образующих эти газы, к условиям захоронения органических веществ в недрах.

Кислород в анаэробной среде практически полностью расходуется на реакции окисления. В условиях аэробного разложения органических веществ образуются кислород, углекислота, азот, сероводород, аммиак и другие газы, которые в основном поступают в атмосферу и лишь в редких случаях создают ореолы газонасыщенных вод.

Газы воздушного происхождения (O_2 , N_2 и инертные газы), поступающая из атмосферы, путем диффузии проникают по трещинам горных пород, иногда на значительную глубину и растворяются в подземных водах. Изменяющиеся во времени температура, давление и минерализация подземных вод в процессе движения оказывают значительное влияние на их способность растворять газы. В связи с этим наблюдаются случаи, когда восходящие источники, насыщенные газами воздушного происхождения, начинают газировать, выделяя газ в свободное состояние. Подземные воды чаще всего имеют азотный газовый состав. Кислород, обладая высокой химической активностью по сравнению с азотом и другими инертными газами, часто полностью расходуется на окислительные процессы в литосфере.

Газы химического происхождения подразделяются на 2 группы: 1) образующиеся при нормальных давлениях и температурах; 2) образующиеся в глубоких горизонтах в условиях повышенных температур и давлений [3].

Химические реакции, приводящие к образованию газов первой группы, протекают при активной деятельности микроорганизмов. Эти газы являются биохимическими. К числу химических процессов образования газов относятся лишь немногие процессы, связанные с воздействием кислых поверхностных вод на карбонатные породы или на воды, содержащие связанную CO_2 с выделением свободной CO_2 . Такой процесс

выделения свободной CO_2 происходит при разложении карбонатных пород или при воздействии кислых вод на сульфидные руды с образованием H_2S .

Газы второй группы образуются при метаморфизме горных пород. Прежде всего это газы вулканических областей: CO_2 , CO , H_2 , N_2 , SO_2 , S_2 , Cl_2 , H_2S , HCl , HF , $\text{B}(\text{OH})_3$, NH_3 , CH_4 , хлориды и фториды металлов, сульфиды мышьяка, O_2 , Ar , He и другие газы. В составе газов действующих вулканов преобладает водяной пар.

А. А. Сауков указывал на то, что многие газы образуются в процессе химических реакций при нагревании горных пород.

1. Водород — в результате воздействия водяного пара на соединения закисного железа $\text{H}_2\text{O} + 3\text{FeO} \rightleftharpoons \text{Fe}_2\text{O}_4 + \text{H}_2$.

2. CO_2 — при термическом разложении карбонатов.

3. CO — при воздействии CO_2 на соединения закисного железа: $\text{CO}_2 + 3\text{FeO} = \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}$.

4. SO_2 и SO_3 — при окислении пирита: $2\text{FeSO}_4 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2 + \text{SO}_3$.

5. Сероводород и элементарная сера — при нагревании пирита в присутствии паров воды: $\text{FeS}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{FeO} + \text{H}_2\text{S} + \text{S}$.

6. Процессы возгонки и частичной диссоциации органических веществ осадочных пород приводят к образованию CH_4 .

Основное количество азота в минеральных водах даже на больших глубинах связывается с его воздушным происхождением.

Микрофлора. В подземных водах обнаруживаются аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие, тионовые, водородоокисляющие, метаноокисляющие, окисляющие нефтяные углеводороды, сульфатовосстанавливающие, водородпродуцирующие, метанообразующие и другие бактерии. Биохимические свойства их очень разнообразны. Они принимают участие во многих окислительно-восстановительных процессах в системе вода — порода — газ — живое вещество. Микроорганизмы, при высоком их содержании в подземных минеральных водах (1 млн клеток в 1 мл воды) и развитии в условиях температур от 0 до 98°C при минерализации до 300 г/л (значениях pH от 0,64 до 11), оказывают большое влияние на формирование химического и газового составов. Они потребляют вещества горных пород и подземных вод и образуют новые, изменяя тем самым состав минеральных вод. В процессе жизнедеятельности бактерий образуются CO_2 , CH_4 , NO_3^- , NO_2^- , N_2 , NH_3 , H_2S , H_2SO_4 .

Высокие пластовые давления глубоких водоносных горизонтов активизируют развитие бактерий.

Микроорганизмы обнаружены также в связанных водах (при изучении поровых растворов), где они обладают более высокой активностью.

Выделяют 3 гидробиохимические зоны: аэробную, переходную и анаэробную. Продуктами жизнедеятельности аэробных (тионовых, метано-окисляющих и других) и факультативно-анаэробных (денитрифицирующих и других) бактерий являются свободный кислород и различные окисные формы углерода, азота, серы, в переходной зоне — связанный кислород в форме сульфатов, нитратов, уголекислоты. В этих зонах протекают окислительные биохимические процессы.

В анаэробной зоне протекают окислительные и восстановительные биохимические процессы. Продуктами жизнедеятельности в этой зоне являются окисные и восстановленные формы углерода, азота, серы.

На развитие бактериальной жизни в подземных водах оказывают влияние: гидродинамический и гидрогеотермический режимы; минеральный состав водовмещающих пород; наличие органических веществ.

Тионовые бактерии окисляют все сульфидные минералы: пирит и марказит FeS_2 , халькопирит Cu_2S , кобальтин CoAsS , арсенипирит FeAsS , молибденит MoS_2 , сфалерит ZnS , галенит PbS , антимонит Sb_2S_3 и др. При этом скорость бактериального окисления в несколько раз (иногда на несколько порядков) выше, чем при их химическом окислении. В результате минеральные воды обогащаются халькофильными элементами (Cu, Pb, Zn, Mo, Cd и др.).

Сульфатвосстанавливающие бактерии образуют большую часть сероводорода. Отсутствие же биогенного сероводорода в зоне гипергенеза в большинстве случаев может быть связано с широким распространением тионовых бактерий, окисляющих сероводород.

Водородпродуцирующие бактерии образуют водород при анаэробном разложении органических веществ — углеводов.

1.3. Кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные состояния минеральных вод

В природе «чистых» вод не существует. Любая минеральная вода представляет собой водный раствор, в составе которого находятся различные газы, минеральные, органические вещества и микрофлора.

Растворяющееся в воде вещество изменяет ее рН (концентрацию водородных ионов) в результате соединения ионов этого вещества с диссоциированными в воде ионами H^+ или OH^- .

Очень большие нарушения химического равновесия в водном растворе происходят при растворении углекислого кальция, они приводят к резкому уменьшению диссоциированных ионов водорода H^+ и соответственно к щелочной реакции. При окислении сульфидных минералов, растворении солей железа, алюминия, вулканических газов, содержащих сероводород, серляную кислоту и другие, в водном растворе наблюдается резкое нарушение химического равновесия и значения рН становятся низкими. Значения $\text{pH} > 8,5$ имеют содовые воды; $8,5 > \text{pH} > 4$ свойственны водам с высоким содержанием HCO_3^- , $\text{pH} < 4$ характеризует воды, содержащие свободные кислоты (неорганические и органические).

Водные растворы называются буферными, когда значения рН остаются относительно постоянными при добавлении незначительного количества кислоты или щелочи, т. е. наблюдается неизменность концентрации H^+ в силу слабой диссоциированности кислот и оснований.

Как отмечает А. Х. Браунлоу, большинство природных растворов — буферные. Величина рН в них стремится оставаться постоянной благодаря реакциям, препятствующим изменению рН.

Установлено, что повышенное количество CO_2 увеличивает содержание в воде H_2CO_3 . В то же время H_2CO_3 вызывает уменьшение содержания в растворе карбоната кальция. Таким образом, минеральная вода, содержащая H_2CO_3 и HCO_3^- , обладает буферными свойствами и в этом случае даже достаточно большие изменения концентрации H^+ не приводят к значительному изменению рН. Буферная емкость раствора измеряется количеством эквивалентов сильной кислоты или основания, которое необходимо добавить к 1 л буферного раствора, чтобы изменить его рН на единицу. Буферная емкость зависит от концентрации кислотно-основной сопряженной пары, а также от отношений концентраций кислоты и сопряженного основания. Она достигает своего максимального значения, когда это отношение равно единице.

В минеральных водах величина рН зависит главным образом от присутствия в них CO_2 , HCO_3^- и CO_3^{2-} . В связи с тем, что растворимость двуокиси углерода зависит от давления p и температуры T , рН минеральной воды будет изменяться при изменении p - T условий.

Диссоциация HCO_3^- на CO_3^{2-} и H^+ в воде происходит наи-

более активно при $pH > 8,2$. При $pH < 8,2$ ионы HCO_3^- и CO_3^{2-} образуют H_2CO_3 . Содержание HCO_3^- и CO_3^{2-} определяется поступлением CO_2 из зон метаморфизации и растворения карбонатных пород или из атмосферы, почвенного слоя. В минеральных водах нефтегазоносных бассейнов CO_3^{2-} образуется за счет CO_2 , возникающего при диагенезе органических веществ.

Щелочность подземных вод определяется общим действием различных анионов слабых неорганических и органических кислот (карбонатная, силикатная, сульфидная, боратная щелочность и др.). Высокощелочные воды формируются силикатными ионами.

Изменение p - T условий минеральных вод при их извлечении из водоносного горизонта и транспортировке может сопровождаться изменением pH , в некоторых случаях очень значительно. При достаточно быстром установлении равновесия в новых p - T условиях (в обстановке атмосферного давления, снижений температуры и непосредственного соприкосновения с воздушной средой) химический состав минеральной воды не будет соответствовать ее составу в водоносном горизонте.

Это обстоятельство следует особо учитывать при изучении минеральных вод, оценке их лечебных свойств. С изменением p - T условий изменяются структурные особенности минеральной воды, физические и термодинамические свойства, устойчивость ее как химического соединения. По мере снижения T воды отмечается следующее: свободная энергия образования воды увеличивается, соответственно уменьшается ее энтропия; доля воды в диссоциированной форме снижается; уменьшается парциальное давление водорода и кислорода, а также концентрация H^+ и OH^- . Устойчивость воды, как известно, определяется равновесием между H_2O и O_2 и при $p = 9,8 \cdot 10^4$ Па, выражается уравнением: $2H_2O = O_2 + 4H^+ + 4e^-$. Расчетные данные, по Р. М. Гаррелсу и Ч. Л. Крайсту, для равновесных условий представляются в виде уравнения

$$Eh = 1,23 - 0,06pH, \quad (1.1)$$

где Eh — окислительно-восстановительный потенциал, мВ; pH — концентрация ионов водорода.

Электронная активность или окислительно-восстановительный потенциал Eh , характеризует меру возможности протекания определенных химических реакций. Типичные окислители в минеральных водах — простые катионы и сложные кислородные анионы, содержащие катион высшей степени окисления: Fe^{3+} , Ge^{4+} , $S^{6+}O_4^{2-}$, $Cr^{6+}O_4^{2-}$, $N^{5+}O_3^-$ и

другие, а также некоторые органические вещества. Восстановителями являются элементы с наименьшей электроотрицательностью, ионы, обладающие возможностью повысить степень своего окисления, и сложные анионы, когда их катионы не получили еще полного окисления: S^{2-} , Fe^{2+} , Ge^{2+} , Mn^{2+} , $S^{+}O_3^{-}$, $N^{3+}O_2^{-}$ и другие, а также некоторые органические вещества.

Совокупность разновалентных соединений какого-либо одного химического элемента представляет собой отдельную окислительно-восстановительную систему. Существование в минеральных водах таких систем приводит к установлению их динамического равновесия.

Локальные характеристики минеральных вод — рН и Eh, причем рН является мерой активности водородных ионов H^{+} (содержанием протонов) минеральной воды, а Eh — мерой ее окислительной способности (электронной активности), которая определяется суммарной активностью всех содержащихся в минеральной воде окислителей и восстановителей.

На величину Eh и рН оказывают влияние: процессы разложения органических веществ; окислительно-восстановительные реакции с участием железа, серы, углерода; равновесие между растворимым в воде диоксидом углерода и карбонатом кальция.

Величина Eh минеральных вод изменяется в очень широких пределах: от положительных ее значений в верхних (окислительных) горизонтах до отрицательных в глубоких (восстановительных) водоносных горизонтах. В глубоких водонасыщенных толщах горных пород анаэробные бактерии в процессе окисления органических веществ восстанавливают сульфат-ион до сероводорода. Окислитель органического вещества — Fe^{2+} .

Все окислительно-восстановительные процессы в минеральных водах протекают при участии H^{+} . Установленная зависимость величин рН от Eh указывает на то, что Eh, при котором происходит окисление любого химического элемента, уменьшается с ростом значения рН.

Высокие положительные значения Eh > 200 мВ характерны для кислородсодержащих вод верхних водоносных горизонтов. Воды окисляющихся сульфидных месторождений и кислых термальных вод областей современного вулканизма имеют Eh до $+600$ и даже 800 мВ при низких значениях рН < 2 .

Низкие значения Eh — от -100 до -400 мВ характерны для минеральных вод нефтегазоносных районов, содержащих свободный H_2S . Протекающие в этих условиях процессы

сульфатредукции образуют сероводородные H_2S и гидросульфидные HS^- воды. Средние положительные значения Eh имеют углекислые минеральные воды. При содержании в них сероводорода значения Eh становятся отрицательными. То же относится и к азотным термальным водам.

В сероводородных водах наблюдаются различные соотношения между H_2S и HS^- , которые определяются величиной рН. В кислой среде преобладает молекулярный H_2S , а в щелочной — ион HS^- .

1.4. Критерии оценки лечебных свойств минеральных вод

Оценка лечебных свойств минеральной воды должна проводиться на основе фармакологических и экспериментально-клинических исследований. Однако предварительная оценка ее лечебного действия может быть дана на основе принципа аналогии, т. е. сопоставления ее химических и физических свойств с аналогичными свойствами вод, бальнеотерапевтически хорошо изученными. Этот принцип сопоставления минеральной воды нового источника с водами, хорошо изученными, широко используется в СССР и других странах. Предварительная оценка дала возможность значительно повысить темпы практического освоения минеральных вод в лечебных целях. С другой стороны, знание того, какое лечебное действие можно ожидать от минеральной воды вновь выявленного источника, даст возможность определить направления фармакологических и клинических исследований.

В СССР оценка лечебных свойств минеральных вод для курортов и санаториев союзного и союзно-республиканского значения, крупных заводов розлива дается на основании специальных бальнеологических заключений институтов курортологии и физиотерапии Министерства здравоохранения СССР, а для санаторно-курортных комплексов и бальнеолечебниц местного значения, небольших заводов и цехов розлива — соответствующих институтов министерств здравоохранения союзных республик.

Оценка минеральных вод, предназначенных в качестве питьевых лечебных и лечебно-столовых, проводится по ГОСТ 13273—88 путем сопоставления анионного и катионного составов, общей минерализации и специфических компонентов исследуемой минеральной воды и известной минеральной воды, лечебные свойства которой хорошо изучены. В ГОСТе 13273—88 указывается также и природный газо-

Рекомендации по применению питьевых лечебных и лечебно-столовых минеральных вод (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Показания к применению	Типы (I—VI) минеральных вод					
	I. Cl^- — Na , Ca — Na ; I , Br , B	II. Cl^- — SO_4 или SO_4 — Cl ; Na	III. Cl^- — SO_4 или SO_4 — Cl ; Ca — Na	IV. Cl^- — SO_4 или SO_4 — Cl ; Mg — Ca — Na	V. SO_4 ; Mg — Ca — Na	VI. HCO_3 с различным катионным составом
1. Хронические гастриты, преимущественно с сохраненной или повышенной секреторной функцией желудка	—	+	—	+	+	+
2. Хронические гастриты с недостаточной секреторной функцией желудка	+	—	+	—	—	(при наличии As , H_2SiO_3 , B)
3. Хронические колиты	+	+	+	+	+	+
4. Хронические панкреатиты	—	+	+	+	+	(при отсутствии H_2SiO_3 , B)
5. Хронические заболевания печени и желчевыводящих путей	—	+	+	+	+	+
6. Хронические заболевания печени, желчевыводящих и мочевыводящих путей	—	—	—	—	+	(при отсутствии As , H_2SiO_3 , B)

7. Язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки	-	-	-	+	+	(при отсутствии As, H ₂ SiO ₃ , B)
8. Болезни обмена веществ (сахарный диабет, мочеиспильный диабет, оксалурия)	-	-	+	+	+	(при отсутствии H ₂ SiO ₃ , B)
9. Железодефицитные анемии	-	-	-	-	+	(при наличии Fe)
10. Малокровные различного происхождения	-	-	-	-	+	(при наличии As)
11. Хронические запоры	-	+	+	+	-	(при M > 15)
12. Тиреотоксикоз	+	-	-	-	+	(при наличии I)
13. Склонность к ожирению	-	-	-	-	-	(при наличии B)

Примечания: 1) знак «плюс» — вода рекомендована для лечения указанного заболевания, знак «минус» — не рекомендована; 2) химический состав вод показан по преобладающим анионам.

вый состав в связи с тем, что эти воды могут использоваться на месте (у бюветов) в санаторно-курортных условиях без разлива их в бутылки и газового насыщения. По известным источникам минеральных вод в ГОСТе приведены рекомендации по их лечебному применению. Эти рекомендации (см. приложение 1) по хорошо изученным минеральным водам могут быть отнесены к новым водам, имеющим аналогичные физико-химические свойства.

Минеральные воды, разлитые в бутылки и предназначенные в качестве питьевых лечебных и лечебно-столовых, имеют 12 медицинских показаний к применению (табл. 1.1). Наибольшим числом медицинских показаний обладают минеральные воды гидрокарбонатного состава. В них часто содержатся биологически активные компоненты: As, Fe, HBO_2 , H_2SiO_4 . Хлоридные воды характеризуются весьма ограниченным числом медицинских показаний к применению, хотя в них встречаются также биологически активные компоненты, такие как I, Bг, B.

Для предварительной оценки лечебных свойств предложено выделять 6 основных химических типов минеральных вод и встречающихся в них биологически активных компонентов (см. табл. 1.1).

Это значительно упрощает возможность предварительного указания перечня медицинских показателей для нового бальнеотерапевтически не изученного источника минеральных вод. Такая предварительная оценка может проводиться на стадии поисков и разведки месторождений минеральных вод после получения результатов их химического анализа. Уточнение медицинских показаний и окончательное бальнеотерапевтическое заключение по каждому новому источнику минеральных вод должно быть обосновано специальными фармакологическими и экспериментально-клиническими исследованиями.

Подземные минеральные воды, используемые в бальнеотерапии (наружного применения), по новым источникам оцениваются также путем сопоставления их газового, ионно-солевого состава, минерализации, наличия в них микрокомпонентов, температуры с хорошо известными водами, медицинские показатели по применению которых достоверно установлены.

На современной стадии гидрогеологической изученности минеральных вод выявлено большое их разнообразие (по химическому составу содержащихся в них микрокомпонентов и др.). Среди основных бальнеологических групп минеральных вод наиболее широко используются углекислые,

сероводородные, радоновые, кремнистые, иодобромные и высокоминерализованные хлоридные воды. Их лечебные свойства определяются газовым, ионно-солевым составами, величиной общей минерализации и наличием биологически активных компонентов. По содержанию в водах газов или других биологически активных компонентов установлены пороговые значения [8]. Однако в существующих медицинских показаниях (см. приложение 2) многообразие состава минеральных вод не находит полного отражения. Например, медицинские показания по применению углекислых вод различаются только в зависимости от их общей минерализации, г/л: до 8; $8 \div 25$; > 25 (табл. 1.2). Сероводородные воды, при широком различии ионно-солевого состава и степени минерализации, отличаются медицинскими показаниями только в зависимости от концентрации $H_2S + HS^-$. Известно, что в зависимости от концентрации ионов водорода минеральные воды могут быть кислыми сероводородными, щелочными гидросульфидными или нейтральными гидросульфидно-сероводородными. В существующих медицинских показаниях это не находит отражения. Минеральные воды по концентрации радона подразделяются на 4 группы: очень слабо радоновые ($Rn = 185 \div 750$ Бк/л), слаборадоновые ($Rn = 750 \div 1500$ Бк/л), радоновые средней концентрации ($Rn = 1500 \div 7500$ Бк/л) и высокорадоновые ($Rn > 7500$ Бк/л). Известны радоновые воды с высокой минерализацией или радоновые воды с наличием в них биологически активных компонентов (H_2SiO_3 и др.). Но существующими медицинскими показаниями по применению радоновые воды не различаются. То же относится и к йодо-бромным водам. По-видимому, это объясняется еще недостаточной изученностью лечебных свойств минеральных вод.

1.5. Токсичные элементы, предельно допустимые концентрации

В СССР утверждены гигиенические нормативы или предельно допустимые концентрации (ПДК) почти для 1000 вредных веществ в водных источниках. Установлены также максимально допустимые их концентрации, при которых они не оказывают влияния на здоровье человека в течение всей жизни и не ухудшают гигиенических условий водопользования (табл. 1.3). По степени опасности, в зависимости от токсичности, кумулятивности, способности вызывать вредные эффекты эти вещества подразделяются на 3 класса:

Т а б л и ц а 1.2

Бальнеотерапевтическая оценка минеральных вод

Состав минеральных вод			Медицинские показания по минеральным вод			
Биологически активные компоненты	Ионный состав	Общая минерализация, г/л	I	II	III	IV
CO ₂ , H ₂ SiO ₃ , B, As	HCO ₃ , SO ₄ — HCO ₃ —Cl	<8	2—17	9, 10 18— 20	—	1—13
	Cl—HCO ₃	8—25	1—17	9, 10, 17— 20	1—16	1—12
	Cl—Na	>25	2— 12, 4— 17	1— 11, 13 14, 16— 22	1—16	1—13
H ₂ S (10 ÷ 150 мг/л)	HCO ₃ —SO ₄ —Cl, Cl—Na	<10	1—17	1— 13, 15— 22	1—16	—
		>10				
H ₂ S (> 150 мг/л)	HCO ₃ —SO ₄ , Cl—Na	<10	1—17	1— 13, 15— 22	1—16	—
		>10				
Rn	Различный состав, Cl—Na	<10 >10	1—17	1—22	1—16	1—13
H ₂ SiO ₃	Различный состав	<2	1—17	1—22	1—16	1—13
I—Br	HCO ₃ —Cl, Cl—Na	5— 15 5— 150	1— 13, 15— 17	1— 12, 14, 15 17— 22	1—16	1—13

Примечание. I—X — болезни (см. приложение 2).

наружному применению при болезнях						Характерные месторожде- ния минеральных вод
V	VI	VII	VIII	IX	X	
10	—	1—7	1—3	—	—	Кисловодск, Дарасун
10	—	1—7	1—3	—	—	Ессентуки
1—10	1,3	1—3, 5—7	1,3	—	1, 2, 4, 7	Раздан
1—10	1—3	1, 3, 5—7	—	1—13	6	Немиров, Серноводск, Ключи, Красноусольск
1—10	1—3	1, 3, 5, 7	—	1—3	6	Чимион, Тамиск, Маце- ста, Усть-Качка
1—10	1,2	1—4, 6	1—3	1—10	—	Ново-Хмельник, Увиль- ды, Джеты-Огуз, Усть-Кут
1—10	1,3	1—7	—	1—13	5	Кульдур, Горячинск, Ходжа-Обигарм
1—10	1,3	1, 3 5—7	1,3	1—10	1, 2, 4	Семигорье, Нафталан, Чартак

Т а б л и ц а 1.3

Предельно допустимые концентрации (ПДК, мг/л) некоторых

Наименование показателей	Пресные питьевые воды		
	Женева, 1964—1973 гг.	Европейские нормы	СССР СШН— 830611
Алюминий остаточный Al^{3+}	0,05	2	0,3
Бериллий Be	—	—	—
Молибден Mo	—	—	—
Мышьяк As^{3+}	0,05	0,05	0,05
Нитраты NO_3^-	—	—	50,0
Свинец Pb	0,05	0,1	—
Цинк Zn^{+}	5,0	5—15	5,0
Медь Cu^{+}	—	—	1,0
Селен Se	0,01	0,01	0,01
Стронций Sr	—	—	—
Фтор F^- для различных районов	0,6—1,7	—	1,5
Хром Cr^{6+}	0,05	0,05	0,05
Серебро Ag	—	—	0,05
Ртуть Hg^{2+}	0,001	—	0,001
Марганец Mn^{2+}	1,0—1,5	0,05—3,0	0,1
Уран U	—	—	—
Радий Ra	—	—	—
Нитриты NO_2^-	—	—	—
Фенолы	—	—	—
Другие органические ве- щества (в расчете на уг- лерод, $C_{орг}$)	—	—	—

* — в лечебно-столовых водах; ** — в лечебных водах.

I — чрезвычайно опасные; II — высокоопасные; III — опасные.

Для питьевых вод в СССР действует ГОСТ 2874—82, в котором содержатся токсикологические показатели. Существуют различные нормативы в европейских странах (см. табл. 1.3).

Для минеральных питьевых лечебных и лечебно-столовых вод допускаются более высокие содержания отдельных веществ в связи с тем, что они употребляются человеком эпизодически (не постоянно). Запретительные критерии для минеральных питьевых лечебных и лечебно-столовых вод установлены ГОСТ 13273—88.

Нитраты, при высоком их содержании в воде, оказывают на организм человека токсичное воздействие. Особенно ток-

химических веществ в пресных питьевых и лечебных питьевых водах

СССР ГОСТ 2874-82	Минеральные лечеб- ные питьевые воды ГОСТ 13273-88	Класс опас- ности	Метод испытаний
0,5	—	II	—
0,0002	—	I	—
0,25	—	II	ГОСТ 18308-72
0,05	1,5*—2,0**	II	ГОСТ 23268-78
45,0	—	III	ГОСТ 23268-78
0,03	0,1	II	ГОСТ 18293-72
5,0	—	II	ГОСТ 18293-72
1,0	—	II	ГОСТ 4388-72
0,001	0,05	I	—
7,0	25,0	I	ГОСТ 23950-88
0,7—1,5	10,0*—15,0**	II	ГОСТ 23268-78
0,1	0,5	II	—
0,05	—	III	ГОСТ 23268-78
0,005	0,02	I	—
0,1	—	III	ГОСТ 4974-72
—	1,8	—	—
—	18,5 Бк/л	—	Методика Минздрава СССР
—	2,0	—	ГОСТ 23268-78
—	0,001	—	—
—	10,0*—15,0**	—	—

сичны они для детей. При концентрации нитратов до 100 мг/л в воде, используемой для приготовления пищи, в крови человека повышается содержание метгемоглобина.

Свинец, при концентрации в питьевой воде от 0,04 до 1 мг/л, вызывает изменения в нервной системе, крови и сосудах. В организме человека он отлагается в виде нерастворимого трехосновного фосфата и затем при переходе в растворимую двухосновную фосфорную соль вызывает отравление и ряд хронических заболеваний: свинцовые полиневриты, энцефалопатию и центральный артериосклероз, а также язвенную и другие болезни. Соединения селена в питьевой воде вызывают у людей различные недомогания, вплоть до нервного расстройства.

Уран — высокотоксичный элемент. Он аккумулируется в костях, почках и печени человека. Фторид и хлорид урана

легко всасываются кожей и могут вызывать поражения почек.

Мышьяк в воде находится обычно в соединениях с металлами. Эти соединения токсичны для человека, вызывают изменения в капиллярах, нервной системе, нарушение обмена веществ, злокачественные образования.

Стронций в повышенных концентрациях в воде оказывает на организм токсичное действие как нервный и мышечный яд. Некоторые соли стронция вызывают расстройство желудка и параличи, а гидроксид стронция — ожоги слизистой оболочки кожи.

Фтор при избыточном содержании в воде вреден для организма, вызывая развитие флюороза.

Следует отметить, что действующим ГОСТ 13273—88 на питьевые лечебные и лечебно-столовые воды учтены не все токсичные элементы. Так, бериллий при повышенных концентрациях в воде (особенно его соединения с ионами сульфатов, хлоридов и нитратов) вызывает отеки и неврозы. Трехокиси молибдена и пермолибдата аммония вызывают кровоизлияние в легких, резкие отеки вокруг сосудов, обширные паренхиматозные дистрофии ткани печени, эпителии извитых канальцев почек. Ядовиты при высоком содержании (0,1 мг/л) соединения марганца. Они оказывают действие на центральную нервную систему, легкие, печень, периферическую кровь. Это относится и к соединениям алюминия, хлориды, нитраты, ацетаты и сульфиды которого накапливаются в тканях. Токсичными являются различные виды пестицидов: хлорорганические, фторорганические, карбоматы и др. Некоторые из них относятся к группе высокотоксичных веществ. Наличие пестицидов в минеральных водах может быть обусловлено процессами сельскохозяйственного загрязнения в условиях интенсивного применения химических средств защиты растений от различных вредных организмов.

КЛАССИФИКАЦИИ МИНЕРАЛЬНЫХ ЛЕЧЕБНЫХ ВОД

Минеральные лечебные воды классифицируются по многим признакам: их применению; ионно-солевому составу; минерализации; температуре; радиоактивности; кислотно-щелочным свойствам; содержанию биологически активных компонентов.

2.1. Классификация минеральных вод по их применению

По применению минеральные воды подразделяются на 2 группы: для наружного и внутреннего применения (питьевые).

В СССР на природные воды внутреннего применения (питьевые), разлитые в бутылки, действует ГОСТ 13273—88 «Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые». В соответствии с ним к питьевым лечебным водам, применяемым только по назначению врача, относятся воды с минерализацией от 10 до 15 г/дм³, а при наличии в них биологически активных компонентов — с минерализацией менее 10 г/дм³. В зависимости от химического состава допускается в отдельных случаях применение питьевых лечебных вод с минерализацией более 15 г/дм³.

Для лечебно-столовых минеральных вод, применяемых как лечебные по назначению врача, установлены критерии общей минерализации от 1 до 10 г/дм³.

2.2. Классификация минеральных вод по ионно-солевому составу

Минеральные воды внутреннего применения подразделяются на 31 группу (ГОСТ 13273—88). В. В. Иванов и Г. А. Невраев подразделили минеральные воды по их анионному и катионному составам на классы и подклассы (табл. 2.1).

Классификация питьевых минеральных вод, разливаемых в бутылки, по ионному составу и минерализации относится также к водам, используемым на месте (у бюветов) в санаторно-курортных условиях.

Таблица 2.1

Классификация минеральных вод СССР по ионно-солевому составу
(по В. В. Иванову и Г. А. Невраеву, 1964 г.)

Подкласс вод (по анионному составу)	Подкласс вод (по катионному составу)	Общая минерализация вод, г/л
Различного состава	Различного состава	До 2
	Ca	2—5
HCO ₃	Ca—Mg	2—5
	Ca—Mg—Na	2—5
	Ca—Na	2—5
	Mg—Na	2—5, 5—15
	Na	2—5, 5—15, 15—35
HCO ₃ —SO ₄	Ca	2—5
	Ca—Mg	2—5
	Ca—Mg—Na	2—5
	Ca—Na	2—5
	Mg—Na	2—5
	Na	2—5
SO ₄	Ca	2—5
	Ca—Mg	2—5
	Ca—Mg—Na	2—5
	Ca—Na	2—5
	Mg—Na	2—5, 5—15, 15—35
	Na	2—5, 5—15, 15—35
	Fe—Al и др.	2—15, 15—100
SO ₄ —Cl	Na	2—5, 5—15, 15—35
	Na—Ca	2—5, 5—15, 15—35
	Na—Ca—Mg	2—5
	Fe—Al и др.	2—15, 15—35
HCO ₃ —SO ₄ —Cl	Na	2—5, 5—15
	Na—Ca	2—5, 5—15
	Na—Ca—Mg	2—5, 5—15
HCO ₃ —Cl	Na	2—5, 5—15, 15—35
	Na—Ca	2—5, 5—15, 15—35
	Na—Ca—Mg	2—5, 5—15
Cl	Na	2—5, 5—15
	Na—Ca	2—5, 5—15
	Na—Ca—Mg	2—5, 5—15
Рассольные (Cl)	Na	35—150, 150—350
	Na—Ca (и Na—Mg)	35—150, 150—400
	Na—Ca—Mg	35—150, 150—500
	Ca—Mg	35—150, 150—550
	Ca	35—150, 150—650

2.3. Классификация минеральных вод по степени минерализации

Лечебные воды подразделяются на 5 укрупненных групп: малой минерализации 2—5 г/л; средней минерализации 5—10 г/л; высокой минерализации 10—35 г/л; рассольные 35—150 г/л и крепкие рассольные с минерализацией > 150 г/л. Для вод, содержащих биологически активные компоненты, выделяются группы лечебных минеральных вод слабой минерализации (< 1 г/л).

2.4. Классификация минеральных вод по температуре

Согласно Международной бальнеологической классификации различают холодные (ниже 20°C), субтермальные (от 20 до 37°C) и термальные (от 37 до 42°C) минеральные воды. За рубежом нижней границей для теплых источников принята температура 20°C . В СССР подразделения минеральных вод по температуре были предложены В. В. Ивановым, Ф. А. Макаренко, А. М. Овчинниковым, Г. А. Невраевым, Б. Ф. Маврицким, И. К. Зайцевым и Н. И. Толстихиным.

Во всех классификациях температура — один из важных бальнеологических и геохимических показателей. Некоторые классификации имеют очень дробное деление природных вод по температуре [13]. На практике широкое применение получила классификация с упрощенным делением минеральных вод на 4 группы [7].

А. М. Овчинников и В. В. Иванов дополнительно к 4 выделенным группам предложили различать переохлажденные, очень холодные и перегретые минеральные воды.

Переохлажденные высокоминерализованные и рассольные воды с температурой менее 0°C распространены в областях развития вечной мерзлоты (север и северо-восток СССР). Очень холодные и весьма холодные воды с температурой от 0 до 4°C широко развиты в Сибири и других областях многолетней мерзлоты, а холодные с температурой от 4 до 20°C — в средних широтах. Это воды неглубокой циркуляции. Теплые воды (субтермальные, слаботермальные, акротермы) с температурой от 20 до 37°C распространены на глубинах от нескольких сот метров до $1,5$ км. Горячие воды (термальные, гомотермальные — близкие к температуре человеческого тела) с температурой от 37 до 42°C развиты в молодых горно-складчатых областях на глубинах несколько сот метров, а в платформенных — на глубинах $1,5$ — 2 км.

Т а б л и ц а 2.2

Нижние границы концентраций радона в минеральных водах, принятые в различных странах (по В. В. Иванову и Г. А. Невраеву, 1964 г.)

Страна	Норма Rn, Бк/л	Автор, год издания
Австрия:		
для питья	3700	К.-Э. Квентин, 1961
для ванн	370	
Болгария	370	В. М. Куситасева и Й. Л. Меламед, 1958
Польша	37	С. Ц. Папп, 1957
ФРГ	666*	К.-Э. Квентин, 1961
Италия	48	Г. Лямперт, 1958
Польша	74	М. Шмитовна, 1962
США:		
для ингаляции	37	С. Лихт, 1963
для ванн	370	
для питьевого лечения	3700	
Франция	370	Г. Лямперт, 1958
Чехо-Словакия	1332	О. Гиние, 1963
Швейцария	67	Г. Лямперт, 1958
Проект международных норм	370	—

Примечание. Кроме этих общих норм в Германии существуют дифференцированные нормы для радиоактивных вод: для питьевого лечения 10 800 Бк/л, для ванн и купаний 675 Бк/л и для ингаляций 108 Бк/л.

Очень горячие (гипертермальные) воды от 42 до 100 °С в молодых горно-складчатых областях глубокими тектоническими нарушениями часто выводятся на поверхность в виде источников, а в артезианских бассейнах распространены на глубинах 1,5—3 км. Исключительно горячие воды (перегретые воды парогидротерм и гейзеров) широко распространены в областях современного активного вулканизма.

2.5. Классификация минеральных вод по радиоактивности

По радиоактивности различают 4 основные группы минеральных вод: радоновые, радиевые или радиеносные, радоно-радиевые и урановые.

Основное лечебное значение имеют радоновые воды. Принятые различными странами критерии радиоактивности минеральных вод приведены в табл. 2.2.

В СССР с 1961 г., по предложению Е. С. Щепотьевой, для минеральных вод были приняты следующие критерии концентраций радона, Бк/л: малой концентрации (слаборадоновые) от 185 до 1480; средней концентрации (среднерадоновые) от 1480 до 7400; высокой концентрации (высокорадоновые) > 7400 .

Воды с концентрацией радона от 37 до 185 Бк/л могут применяться как лечебные только при условии организации процедур в проточных бассейнах. Для питьевого лечения применяются высокорадоновые воды (> 7400 Бк/л).

Действующие в настоящее время в СССР нормативы [15] разграничивают минеральные воды по радиоактивности (в Бк/л) на 4 группы: очень слабо радоновые 185—750, слаборадоновые 750—1500, радоновые средней концентрации 1500—7500 и высокорадоновые с концентрацией радона более 7500. По бальнеологической ценности радоновые воды подразделяются на радоновые воды «простого состава» (радон является единственным бальнеологическим компонентом) и радоновые воды «сложного состава» (кроме радона присутствуют другие биологически активные компоненты).

2.6. Классификация минеральных вод по кислотно-щелочным свойствам

Минеральные воды могут быть от сильноокислых до сильнощелочных. Кислотные свойства вод определяются действием водородных, а щелочные — гидроксильных ионов. Активность водородных ионов количественно выражается величиной рН. Эта величина в минеральных водах может меняться от 0,4—0,5 до 8,5—9,5. Для большинства вод характерно невысокое содержание ионов водорода. Только в тех водах, в которых содержатся различные кислоты, концентрация водорода может быть очень высокой. Кислотно-щелочные условия определяют нормы миграции элементов и взаимоотношения между процессами перехода химических элементов в минеральные воды и осаждения их из вод.

При $\text{pH} = 7$ минеральная вода имеет нейтральную реакцию. Реакция диссоциации воды — эндотермическая, т. е. с увеличением температуры степень ее диссоциации возрастает, а при снижении температуры активность ионов уменьшается. Наиболее низкими значениями рН характеризуются термальные воды (парогидротермы) областей современного вулканизма ($\text{pH} = 0 \div 2$). Воды в зонах окисления сульфидных руд и высокоминерализованные воды галогенных формаций крупных платформенных структур отличаются

кислой реакцией среды при рН от 2 до 5. Термальные воды массивов кристаллических пород (кремнистые термы), а также минеральные воды краевых прогибов и межгорных впадин обычно характеризуются щелочной реакцией среды. Рудничные воды массивов щелочных пород — резкощелочные. Для многих типов минеральных вод, особенно для гидрокарбонатных натриевых, характерны временные изменения рН, что связано с преобразованием карбонатных равновесий. Несмотря на то, что реакция среды не является основанием для отнесения той или иной воды к минеральной, она в определенной мере отражает действие вод на организм человека.

В СССР минеральные воды по величине рН подразделяются на 5 групп: 3,5 — сильнокислые; 3,5 ÷ 5,5 — кислые; 5,5 ÷ 6,8 — слабокислые, 6,8 ÷ 7,2 — нейтральные; 7,2 ÷ 8,5 — слабощелочные и 8,5 — щелочные [8].

Изучению окислительно-восстановительного потенциала подземных вод посвящены обобщающие работы А. В. Щербакова (1956—1959 гг.), Т. П. Поповой, А. Н. Токарева (1975 г.), А. К. Лисицина (1975 г.), Л. Г. Баас-Беринга, И. Р. Каплан, Д. Мур (1969 г.), С. Р. Крайнова, В. М. Швеца (1980 г.) и др. Величина этого потенциала отражает равновесное окислительно-восстановительное состояние систем, находящихся в минеральных водах, содержащих элементы с переменной валентностью, и служит показателем окислительно-восстановительного режима вод. Диапазон изменений окислительно-восстановительного потенциала лимитируется устойчивостью минеральной воды в системе Eh — рН. Предел изменений Eh минеральных вод ограничен значениями +860 ÷ —600 мВ. В общей схеме Eh уменьшается с ростом рН. Максимальными значениями Eh характеризуются кислые (рН < 2), а минимальными — резкощелочные воды. Высокие значения Eh (до +600 ÷ +860 мВ) имеют минеральные воды окисляющихся сульфидных месторождений и кислые термальные воды районов современного вулканизма. Низкие величины Eh (от —100 до —350 мВ) имеют сероводородные воды; Eh мацестинских сероводородных вод изменяется от —145 до —330 мВ. Сероводород и органические вещества представляют собой восстановители, приводящие к резкому снижению Eh минеральных вод. Сильный восстановитель — водород, его объемная доля в газовом составе минеральных вод может достигать 20—50% (вода угольных и нефтяных месторождений, рассолы галогенных формаций). Окислительно-восстановительный потенциал определяется как составом собственно минеральных вод, так и свойствами пород, с которыми взаимодействуют эти воды [21].

2.7. Классификация минеральных вод по содержанию биологически активных компонентов

По содержанию основных биологически активных компонентов (CO_2 , $\text{H}_2\text{S} + \text{HS}^-$, As, Fe, Br, I, B, H_2SiO_3 , Rn, органические вещества) минеральные воды имеют соответствующие наименования: углекислые, сероводородные, мышьяковистые, железистые, бромные, йодные, борные, кремнистые, радоновые, содержащие органические вещества. Лечебные свойства минеральных вод обусловлены также их температурой и реакцией (pH) водной среды. Общепринятые международные критерии по содержанию биологически активных компонентов для отнесения природных вод к лечебным минеральным до настоящего времени отсутствуют. Критерии оценки минеральных вод разрабатывались в различных странах: Германии, Австрии, Швейцарии, Италии, Англии, Америке и др. Первые критерии (нормы Грюнхута), разработанные на основе статистической обработки данных важнейших источников минеральных вод, были приняты Наугеймским совещанием. В дальнейшем эти нормы уточнялись, однако до настоящего времени многие критерии не имеют достаточного научного обоснования. Вместе с тем они получили широкое распространение во многих странах (табл. 2.3).

В нашей стране количественные критерии для минеральных вод были впервые предложены В. С. Садиковым.

В 1930 г. в СССР решением IV курортологического совещания, утвержденным Ученым Советом Наркомздрава РСФСР, были уточнены действующие нормативы, а также приняты принципы классификации минеральных вод, предложенные Э. Э. Карстенсом, на основе выражения их химического состава в ионной форме. В последующем в нормативы вносились изменения, были установлены критерии для фтора, кремниевой и борной кислот, радиоактивности и т. д. (табл. 2.4).

В настоящее время в СССР для отнесения природных вод к минеральным действуют следующие нормы минимального содержания в них биологически активных компонентов, мг/л: CO_2 — 500; H_2S (HS^-) — 10; Fe — 10; As — 0,7; Br — 25; I — 5; H_2SiO_3 ($+\text{HSiO}_3$) — 50; Rn — 185 Бк/л [15].

В связи с тем, что минеральные лечебные воды часто содержат не один, а два или несколько биологически активных компонентов, Г. В. Куликов и А. В. Жевлаков предложили классификацию с подразделением минеральных вод на три группы: моно-, би- и поликомпонентные. Минеральные воды различных групп и подгрупп характеризуются опреде-

Таблица 2.3

Нижние границы содержания тералевтически активных компонентов в минеральных водах, принятые в зарубежных странах

Компоненты	Содержание компонентов (мг/л; Рп, Бк/л), по данным							
	В. Кусина-сева и И. Меламед (1958 г.), Болгария	С. Папп (1957 г.), Венгрия	А. Гисслэр, К. Э. Квинтин (1961 г.), Германия	М. Шмитовна (1962 г.), Польша	Е. Бердэску (1961 г.), Румыния	О. Гяне (1963 г.), Чехословакия	Е. Вольманна (1910 г.), проект меж-дународных норм	
Общая минерализация	1000	10 ³⁰	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Углекислота свободная CO ₂	250	10 ¹⁰	1000	1000	1000	1000	250/1000	1000
Li ⁺	1	1	—	—	—	—	—	—
Ba ²⁺	—	5	—	—	—	—	—	—
Sr ²⁺	10	10	—	—	—	—	—	—
Fe ²⁺ + Fe ³⁺	10	10/20	10	10	10	10	10	10
Bi ⁻	5	5	—	5	—	—	—	—
I ⁻	1	1	1	1	1	—	5	5
F ⁻	2	2	—	—	—	—	—	—
Сероводород общий H ₂ S + HS ⁻	5	1	1	1	1	1	1	1
As	1 (HAsO ₂)	1,3 (HAsO ₄)	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5
Метаборная кислота HBO ₂	5	5	—	5	—	—	—	—
Метакремниевая кислота H ₂ SiO ₃	75	50	—	100	—	50	—	—
Rn	37	37	1070	74	—	1340	370	370
Ra	—	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴	—	—	—	10 ⁻³	10 ⁻³

Примечание: Дробь: в числителе — содержание компонентов для минерализованных вод, в знаменателе — для пресных.

Таблица 2.4

Нижние границы содержания терапевтически активных компонентов, предложенные в отечественной литературе

Компоненты	Содержание компонентов (мг/л; Рп, Бк/л), по данным				
	В. С. Сади-кова (1916 г.)	IV курорто-логического совещания (1930 г.)	А. А. Лозинского (1949 г.)	Основ курортологии (1956 г.)	БМЭ (1960 г.)
Общая минерализация	1000	—	1000	1000	1000
Углекислота свободная	1000	750	1000	750	750
CO ₂					
Сероводород общий	20—30	10	10	10	10
H ₂ S + HS ⁻					
Li ⁺	10	5	10	5	—
Fe ²⁺ + Fe ³⁺	20	10	10	10	10
Br ⁻	10	25	—	25	25
I ⁻	50	10	—	10	10
Фтор F ⁻	—	—	—	2	—
As	1	1	1	1	1
Гидрофосфат HPO ₄	—	1	—	—	—
Метаборная кислота	—	—	—	50	50
HBO ₂					
Метакремниевая кислота	100	—	100	75	50
H ₂ SiO ₃					
Rп	48	—	48—55	133	133
Ra	—	—	—	1·10 ⁻⁶	—

ленными бальнеологическими свойствами. Для каждой группы и подгруппы приведены типы вод со свойственными им физико-химическими показателями (см. приложение 3). В группе монокомпонентных вод выделены 10 бальнеологических подгрупп: углекислых, сероводородных, радоновых, кремнистых, железистых, йодных, бромных, борных вод, вод с повышенным содержанием органических веществ и вод, лечебное действие которых определяется их ионно-солевым составом. Среди бикомпонентных вод установлено большое разнообразие. Так, подгруппа углекислых вод включает воды, содержащие Rп, SiO₂, Fe, As, В, т. е. выделяются углекислые радоновые, углекислые мышьяковистые, углекислые железистые, углекислые борные, углекислые кремнистые и углекислые хлоридные натриевые воды с минерализацией более 10 г/л. Наибольшим разнообразием характеризуются группы поликомпонентных вод.

Каждая из выделенных подгрупп лечебных минеральных вод среди моно-, би- и поликомпонентных групп отличается

особенностями регионального распространения и условиями формирования. Так, выделенные в классификации радоновые воды: собственно радоновые, радоновые углекислые, радоновые сероводородные, радоновые кремнистые, радоновые железистые, радоновые сильноминерализованные хлоридные натриевые, радоновые углекислые железистые и радоновые борные сильноминерализованные хлоридные натриевые характеризуются различными лечебными свойствами и имеют определенные, присущие каждой подгруппе, особенности формирования и распространения.

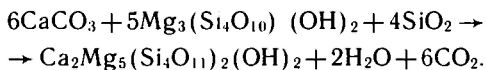
3.1. Углекислые воды

Углекислыми лечебными в бальнеологии считаются такие воды, которые содержат не менее 0,5 г/л углекислого газа [8]. Для внутреннего применения используются воды с содержанием растворенного углекислого газа не менее 0,5 г/л, а для наружного применения — не менее 1,4 г/л.

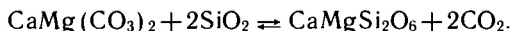
Образование углекислоты. Образование углекислого газа (двуокись углерода или угольный ангидрит CO_2) происходит в результате различных химических и биохимических процессов, связанных с разложением углеродсодержащих веществ. Он представляет собой конечный продукт окисления углерода. В связи с тем, что в растворенном состоянии углекислый газ химически активен, он вступает в соединение с различными элементами. В земной коре основное количество CO_2 связано с карбонатами кальция и магния. Углекислый газ — неперенный компонент всех вулканических эксплзий.

Насыщение подземных вод углекислотой в горно-складчатых областях и активизированных участках платформ происходит главным образом за счет ее поступления из зон глубинного метаморфизма. Многие ученые, например Н. И. Толстихин, А. М. Овчинников, П. Я. Пантелеев, В. В. Иванов, Г. С. Вартамян, А. В. Щербаков и другие, считают источником насыщения углекислых вод поствулканическую и метаморфогенную углекислоту. Образование углекислоты связывается главным образом с протекающими в недрах процессами прогрессивного метаморфизма и преобразованием (перекристаллизацией, дегидратацией) пород на стадиях зеленосланцевой, амфиболитовой и, частично, гранулитовой фаций. Переходы между фациями происходят в некотором интервале p - T -условий (где p — давление, T — температура). Высвобождение летучих компонентов при метаморфизме связывается большинством исследователей в основном с карбонатными породами. При их метаморфизме в результате разложения гидратированных минералов кроме H_2O высвобождается CO_2 . Так, при температуре 600—700°C и соответствующем давлении кальцит и кварц при реакции образуют волластонит с высвобождением CO_2 . Г. С. Вартамяном приведена реакция, протекающая при образовании

зеленых сланцев, когда кальцит и тальк образуют тремолит с выделением огромного количества CO_2 :

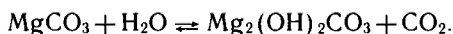
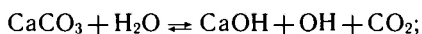


Реакции в метаморфизованных карбонатных породах с выделением CO_2 начинаются при температурах значительно ниже равновесной для волластонита. Так, чистый доломит при реакции с кварцем образует диопсид и CO_2 :



Широким диапазоном *p-T*-условий объясняется длительность эволюции метаморфического преобразования карбонатных пород, начинающаяся с более низких *p-T*-условий, при соответствующей стадийности образования зеленых сланцев, затем амфиболитов и, наконец, минералов гранулитовой фации.

А. В. Щербаков, ссылаясь на опыты Н. И. Хитарова, И. Г. Киссина и С. И. Пахомовой, отмечает, что гидролиз карбонатов с образованием углекислоты происходит при температуре 75—250°C:



Скорость выделения CO_2 зависит не только от скоростей реакции и повышения температуры, наблюдается также ее функциональная зависимость от молекулярного соотношения фаз. При меньшем количестве реагирующего компонента, например кварца SiO_2 , выделение CO_2 будет постепенным.

В ином случае, как показали расчеты У. Файфа и других исследователей, за счет удаления CO_2 при реакциях кальцита и кварца произошло бы достаточно быстрое уменьшение объема породы на 33% (из 1 моля CaCO_3 выделяется 1 моль CO_2) [29].

Горно-складчатые области современного вулканизма характеризуются специфическими, совершенно отличительными от всех других областей газогидротермальными процессами. Магматические процессы протекают с участием летучих компонентов: воды, углекислоты, галоидных соединений и других, как входящих в состав расплава, так и находящихся во флюидной фазе.

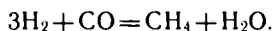
Процессы глубинной дегазации магмы изучены в настоящее время на основе выполненных 20 тыс. анализов состава флюидов, заключенных в различных горных породах. По дан-

ным Ф. А. Летникова, флюидные системы представлены в основном углеродом, водородом, кислородом, азотом, серой, хлором, фтором и фосфором.

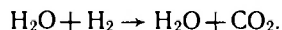
В процессе дегазации и кристаллизации магмы при образовании горных пород базальтового слоя (гипербазитов и базитов) возникают соединения металлов с кислородом: SiO_2 , MgO , $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$, Al_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , K_2O , CaO и др. При этом отмечается очень большое поглощение кислорода, поступающего при дегазации магмы.

Летучая фракция на этапе кристаллизации и дегазации магмы формируется на основе соединений водорода и кислорода (H_2O); углерода и водорода (CH_4), водорода и кислорода с серой (H_2S , SO_2); углерода и кислорода (CO и CO_2); водорода с хлором (HCl) и водорода с азотом (NH_3). Все эти процессы протекают при температурах 600—1200 °С. Из огромного количества водорода, поступающего из магмы на этапе кристаллизации вступает в реакцию лишь его часть (табл. 3.1). Значительное количество водорода остается в свободном состоянии и образует соединения в гранитном слое и осадочно-метаморфической толще. Отмечается, что на ранних этапах дегазации мантии в архее — протерозое углерод выделялся в значительно больших количествах. Следовательно, среди газов атмосферы преобладала углекислота.

Растворимость H_2S , HCl и CO_2 в магме низкая, поэтому эти газы обладали высокой миграционной способностью. В верхних частях мантии флюиды не стабильны. Значительная часть H_2O расходуется на серпентинизацию и амфиболлизацию, а CO_2 — доломитизацию боковых пород. Сильновосстановительный режим флюидов подтверждается наличием самородных элементов железа, никеля, алюминия и т. д., а также карбидов. Серпентинизация происходит при наличии никеля и железа в качестве катализаторов по реакции



Общая закономерность движения флюидов снизу вверх — смена восстановительного водно-водородного флюида на водно-углекислый:



Современные вулканические эксгаляции характеризуются сопоставимыми количествами галоидных и сернистых газов (HCl , H_2S , SO_2) с углекислыми газами (CO , CO_2). По оценке Г. И. Буачидзе, в планетарном масштабе на современном этапе углекислота, поступающая из мантии, превалирует над метаморфической углекислотой, в то же время в условиях

Т а б л и ц а 3.1

Химический состав летучих компонентов

Литосферные слои	Горные породы	Основной химический состав горных пород	Основной химический состав летучих компонентов	Температура $T, ^\circ\text{C}$
Земная кора — осадочно-метаморфический слой	Карбонатные	CaCO_3 ; MgCO_3	CO_2 ; H_2S ; H_2O ; N_2	80—350
	Терригенные	SiO_2 ; Al_2O_3 ; $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$; CaO ; MgO ; K_2O ; Na_2O ; C_{org}	CH_4 ; H_2S ; H_2O ; N_2	80—350
Земная кора — гранитный слой	Пегматиты и пневматиты	SiO_2 ; Al_2O_3 ; K_2O ; Na_2O ; CaF_2 ; AlF_3 ; FeCl_2 ; NH_4Cl ; NiS ; FeS ; CuS ; PCl_3 ; UO_2	H_2C ; H_2 ; HCl ; H ; H_3B ; CH_4 ; CO ; CO_2 ; H_2CO ; PH_3 ; SiF_4 ; H_2SiO_3	350—600
	Граниты	SiO_2 ; Al_2O_3 ; Na_2O ; K_2O ; $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$; MgO	H_2O ; H_2 ; HCl ; F ; H_3B ; CH_4 ; CO ; CO_2 ; H_2CO_3 ; PH_3 ; SiF_4 ; H_2SiO_3	350—600
Земная кора — базальтовый слой	Базиты	SiO_2 ; Al_2O_3 ; CaO ; $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$; MgO ; Na_2O ; K_2O	H_2 ; H_2O ; CH_4 ; H_3S ; CO ; CO_2 ; (NH_3) ; HCl ; SO_2	600—800
	Гипербазиты	SiO_2 ; MgO ; $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$; Al_2O_3 ; TiO_2 ; Na_2O ; K_2O	H_2 ; H_2O ; CH_4 ; H_3S ; CO ; CO_2 ; (NH_3) ; HCl ; SO_2	800—1200
Мантия — верхний слой	Глубинные пегматиты	SiO_2 ; Al_2O_3 ; FeO ; MgO ; CaO	H ; C ; O ; N ; S ; Cl ; F ; P	> 1200

Кавказа метаморфической углекислоты примерно в два раза больше мантийной.

Углекислота минеральных вод характеризуется полигеничностью. Происхождение ее также связано с метаморфическим разложением карбонатсодержащих пород или с разложением их кислыми водами и бактериальным разложением органических веществ. Так, образование свободной углекислоты может происходить в пределах платформенных областей за счет процессов биохимического торфяно-перегнойного почвообразования, химического выветривания в зоне окисления сульфидных минералов и разложения карбонатов рудовмещающих горных пород. Однако количество углекислоты, образующееся в результате этих процессов, очень ограничено и не представляет практического значения.

Химический состав углекислых вод определяется сложным взаимодействием систем: инфильтрационные воды — углекислый газ — породы; инфильтрационные воды — морские (древние и современные) воды — углекислый газ — породы. Основные процессы формирования химического состава углекислых вод — растворение и выщелачивание водовмещающих пород и газов, ионный обмен, взаимодействие вод различного генезиса, окисление и восстановление элементов с переменной валентностью. Углекислые воды имеют разнообразный химический состав. А. М. Овчинников выделил пять наиболее характерных типов месторождений углекислых вод по их химическому составу (табл. 3.2).

Химический состав основных типов углекислых вод приведен в табл. 3.3. Углекислые воды характеризуются наличием в них микроэлементов (табл. 3.4).

Преобладающий химический состав углекислых минеральных вод и наличие в них специфических компонентов по различным областям распространения приведены в табл. 3.5.

Из табл. 3.2, 3.3, 3.4 и 3.5 видно, что среди углекислых вод распространены: гидрокарбонатные; сульфатно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-сульфатные); хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные); сложного (трехкомпонентного) анионного состава; хлоридные. Углекислые гидрокарбонатные воды наиболее распространены и широко используются в курортной практике. Это воды: магниевые — типа Дарасун; натриевые — типа Боржом; сложного катионного состава (магниево-кальциево-натриевые) — типа Ласточки. Дарасунский тип вод характеризуется низкой минерализацией (2—5 г/л), Боржомский — средней минерализацией (5—15 г/л). Воды сложного катионного состава имеют минерализацию от 2 до 10—15 г/л.

Таблица 3.2

Основные типы месторождений углекислых вод (по А. М. Овчинникову,

Основные типы месторождений по химическому составу вод	Характерные соотношения между содержанием компонентов, %	Подтип вод	Температура, °С	Типичный ионный состав
I. Гидрокарбонатные, преимущественно кальциевые (холодные)	$rCl < 50;$ $rCa > 50;$	Забайкальский	1—10	Гидрокарбонатный магнесио-кальциевый
	$\frac{rNa}{rCl} > 1$	Нарзаны	20	Сульфатно-гидрокарбонатно-магнесио-кальциевый
II. Сложного анионного состава, преимущественно натриевые (горячие)	$rNa > 50$	Железноводский (радоново-радиевые)	37	Гидрокарбонатно-сульфатно-натриевый
	$rNa > 50$	Пятигорский	37	Хлоридно-гидрокарбонатно-кальциевый
III. Гидрокарбонатно-натриевые (холодные и теплые)	$rHCO_3 > 50;$ $rNa > 65$	Боржомский (бес-сульфатный)	14—35	Гидрокарбонатно-натриевый
	$rHCO_3 > 50;$ $rNa > 65$	Виши (с сульфатами)	14—45	Гидрокарбонатно-натриевый с повышенным содержанием сульфатов
IV. Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (холодные и теплые)	$35 < rCl < 50;$ $rNa > 65$	Ессентукский (местами обогащенные иодом)	< 37	Гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый
	$35 < rCl < 50;$ $rNa > 65$	Джюльфинский (с повышенным содержанием As)	< 37	Хлоридно-гидрокарбонатно-натриевый
V. Хлоридно-натриевые	$rCl > 65;$ $rNa > 65$	Арзни	< 37	Хлоридно-натриевый
	$\frac{rNa}{rCl} > 1$	Карпатский	< 37 и выше	Хлоридно-натриевый
	$\frac{rNa}{rCl} < 1$	Кавказский	< 37	Хлоридно-кальциево-натриевый

1963 г.)

Геологические условия формирования	Общая минерализация, г/л	Содержание CO_2 св., г/л	Основные месторождения
В верхней части промытых структур осадочных и метаморфических пород	< 1,5	< 3,5	Дарасун, Шиванда, Шамаковка, Кисловодский Нарзан
В известняково-доломитовых и пестроцветных толщах	< 4	< 3	Аршан-Тункинский, Бадамлы, Вильдунген, Борзек
Воды зон разломов в осадочных толщах, прорванных молодыми интрузиями	< 6,5	0,25—0,75	Железноводск, Исти-Су, Джермук, Карловы-Вары
То же, формируются при участии микробиологических процессов (содержат сероводород)	< 6,3	1	Пятигорск (Лермонтовский источник)
Древние инфильтрационные воды флишевых отложений с участием вод типа нефтяных	< 10	< 2	Боржоми, Авадхара, Поляна (Закарпатье), Ласточка (Приморский край)
Сульфаты не восстановлены (большую роль играли процессы обмена катионов)	< 10	< 2	Дилижан, Сираб, Виши (Франция), Крыница (Польша), Билина (ЧСФР)
Смешанные древние инфильтрационные и измененные воды морского происхождения в районах нефтяных месторождений	< 12	< 2,5	Ессентуки, Дзау-Суар (Джава), Малка (Камчатка), Сойм (Закарпатье), Лугачевице (ЧСФР)
Те же, на участках гидротермального мышьякового оруденения	< 25	< 2,5	Джюльфа, Синегорский
Воды выщелачивания соляных толщ	< 3	< 2,7	Арзни, Наугейм, Кохбрунн
Воды древние морского генезиса	< 35	< 2,7	Вишне-Быстра (Закарпатье)
Седиментационные метаморфизованные воды	< 50	1	Карма-Дон (Северная Осетия)

Т а б л и ц а 33
 Основной химический состав углекислых вод (по С. Р. Крайнову и В. М. Швецу, 1980 г.)

Тип вод, по А. М. Овчинникову	Химический состав	Общая мг/л мг/л	рН	Тем- пература, °C	Содержание компонентов, мг/л							
					CO ₂	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
I. Дарасунский	$\frac{\text{HCO}_3\text{89SO}_4\text{9}}{\text{Ca51Mg26(Na+K)18}}$	1309	6,0	2,8	2952	6,5	73,2	890,6	63,9	7,8	52,7	163,3
Кисловодский (Нарзан)	$\frac{\text{HCO}_3\text{47SO}_4\text{40}}{\text{Ca62Mg24}}$	1413	6,3	12,1	630	71,6	366,7	555,6	38,5	20,7	56,1	238,9
II. Железноводский (Славяновский источник)	$\frac{\text{HCO}_3\text{45SO}_4\text{38}}{(\text{Na+K})63\text{Ca29}}$	3130	6,6	54	670	291,0	877,0	1338	677,7	38,0	42,0	286,0
Истн-Су	$\frac{\text{HCO}_3\text{50Cl34SO}_4\text{15}}{(\text{Na+K})90\text{Ca8}}$	7134	6,7	54	600	1180	739,1	3002	2038	21,7	26,6	156,5
Карловарский (Шпрудель)	$\frac{\text{HCO}_3\text{42SO}_3\text{36Cl21}}{(\text{Na+K})87\text{Ca8}}$	6059	—	71,4	375	612,5	1403	2105	1566	99,4	44,1	127

III. Боржом	$\frac{\text{HCO}_3\text{85 Cl115}}{(\text{Na} + \text{K})88 \text{Ca7}}$	6392	6,8	33	968	424	2,5	4124	1586	33,0	47	111
Виши	$\frac{\text{HCO}_3\text{82 Cl110}}{(\text{Na} + \text{K})85 \text{Ca6}}$	7027	—	41,5	908	323,9	196,8	4344	1695,5	137,5	50,4	107,3
IV. Ессентукский	$\frac{\text{Cl60 HCO}_3\text{40}}{(\text{Na} + \text{K}) 92 \text{Ca4}}$	11 827	6,6	12,0	1790	2264	7,4	5872,6	3370,6	15,3	75,2	135,7
Синегорский	$\frac{\text{Cl54 HCO}_3\text{46}}{(\text{Na} + \text{K})90}$	24 870	6,1	7,2	3000	6195,1	36,0	8944	6566,3	124,8	208,0	260,0
V. Арзни	$\frac{\text{Cl68HCO}_3\text{24}}{(\text{Na} + \text{K})75 \text{Mg15 Ca10}}$	11 273	6,6	20,1	1200	4184,3	615,6	2599,8	2320,3	82,3	308,2	365,0
Ереванский	$\frac{\text{Cl89HCO}_3\text{8}}{(\text{Na} + \text{K})92}$	92 120	—	21	2540	48 310	1941	7320	32 171	105,3	608,0	1412

Таблица 3.4

Максимальные содержания и состояния элементов в углекислых подземных водах (по С. Р. Крайнову и В. М. Швецу, 1980 г.)

Элемент	Содержание, мг/л	Преобладающее состояние
Li	320	Li^{2+} , LiCl^0 , LiSO_4^-
Rb	100	Rb^+
Ca	20	Cs^+
B	1200	H_3BO_3 , $\text{H}_2\text{B}_3\text{O}_6$, анионы этих кислот, борорганические соединения
As	120	H_3AsO_4 , H_2AsO_4^- , $\text{HA}_2\text{O}_7^{2-}$, $\text{H}_7\text{A}_5\text{O}_{13}$, H_2AsO_7^- , AsS_3^{3-} , мышьякорганические соединения
Sb	10	H_3SbO_4 , HSbO_2 , SbO_3^- , $\text{Sb}(\text{OH})_3$, SbS^{1-}
Ge	0,2	H_2GeO_3 , HG_2O_3^- , германийорганические соединения
Hg	0,2	HgCl_2^{2-} , $\text{Hg}(\text{HS})^{2-}$, HgS_2^{2-} , ртутьорганические соединения
F	10—1000	HF , F^- , $\text{Me}^m\text{F}_n^{m-n}$, где Me: Al^{3+} , Fe^{3+} , Si^{4+} , V^{3+} и др.

Т а б л и ц а 35

Минерализация, преобладающий химический состав и специфические компоненты различных типов углекислых вод

Структурно-тектонические зоны	Химический состав вод	Специфиче-ский компонент (содержание г/л; Rп, Bс/л)	СО ₂ раст-ворен-ная, г/л	Общая минерализация, г/л	Месторождения, источник
Закарпатье	HCO ₃ -Na	H ₂ BO ₃ (0,015—1,246)	1—2	4,2—26,3	Плюков, Полля, Новая Поляна, Пасека (Карпаты), Неледино
	HCO ₃ -Na; Ca—Na	H ₂ BO ₃ (0,07)	1—2,2	1,4—8,5	Занька, Голубинское, Шаян
	HCO ₃ -Ca; Mg—Ca	Fe (0,018—0,06)	2—3	0,7—1,8	Келечинское
	HCO ₃ -Cl—Na	H ₂ BO ₃ (0,141—0,633); As (0,004—0,043); F ₂ (0,015), Br (0,06); I (0,017)	1,7—2,1	2—12	Верхне-Буэстрый, Малая Росляка, Квасы Раховские
	Cl—HCO ₃ -Ca—Na Cl—Na	H ₂ BO ₃ (0,03—0,08) H ₂ BO ₃ (0,045—0,938); H ₂ SiO ₃ (0,130); Fe (0,018—0,140)	1,7—2,5 0,7—3	6,5—7,8 1,6—130	Сойминское Драгово, Соль, Розовка
Область Бельшозо Кавказ Мегаангклинорий Главного хребта	HCO ₃ -Ca; Ca—Na; HCO ₃ -Ca—Mg	H ₂ SiO ₃ (0,027—0,080); F ₂ (0,022—0,086)	0,5—3,0	0,9—6,5	Апыл-Су, Четет-Лак-Ран
	HCO ₃ -Ca—Na—Mg; HCO ₃ -Cl—Na	H ₂ BO ₃ (0,016—1); Li (0,22)	0,5—3,0	0,9—6,5	Джемагат, Ирик, Тебердинское, Верхний Баксан

Структурно-тектонические зоны	Химический состав вод	Специфический компонент (содержание: г/л; Rn, Бк/л)	CO ₂ раствораемая, г/л	Общая минерализация, г/л	Месторождения, источник
Зона Передового хребта	HCO ₃ -Cl-Na; Cl-HCO ₃ -Na	H ₂ BO ₃ (0,04—0,280); As (<0,037); Li (0,05—0,01)	0,5—2,5	0,6—13,6	Карт, Джурт, Ингуш-лн, Выхный Карача-дон, Чуккур, Индыш
Лабчно-Малкинская зона	HCO ₃ -Ca-Na; Cl-HCO ₃ -Na, Cl-Na	H ₂ SiO ₃ (0,140); H ₂ BO ₃ (0,05—0,6); As (<0,0035); Li (0,010); Br (0,043)	0,5—2,5	0,7—32,6	Тохара-Су, Тузлук, Хасаут, Маринсксе, Красногорские, Тинди, Инкарър
Северо-Ханказская монокираль с зоной Кавказских минеральных вод (К/МВ)	HCO ₃ -Cl-Na (Ca-Na); HCO ₃ -SO ₄ -Ca-Mg; Ca-Na-Mg; SO ₄ -Cl-HCO ₃ -Na; SO ₄ -HCO ₃ -Na-Ca-Mg; Cl-HCO ₃ -SO ₄ -Na-Ca; Cl-HCO ₃ -Na	H ₂ BO ₃ (0,01—0,050); H ₂ SiO ₃ (0,030—0,150); Fe (0,025—0,040); Rn (10,0); Li (0,0015—0,028)	0,5—2,6	3,5—51	Танадон, Колоти-Кау, Есентуки, Пятигорж, Кисловодск, Новоз-Благодарное
Южный склон Главного Кавказского хребта	HCO ₃ -Na; HCO ₃ -Cl-Na; Cl-HCO ₃ -Na	H ₂ BO ₃ (0,060—2,4); H ₂ SiO ₃ (0,153); As (0,005—0,017); F ₂ (0,025—0,153)	0,5—2,0	0,13—25,7	Уцера, Баграти, Важа, Цхаро, Пасеаури, Оти, Джава, Чвижебе

*Область Малого Кав-
каза*

Самхето-Кафанская зона	$\text{HCO}_3\text{---Ca};$ $\text{HCO}_3\text{---SO}_4\text{---Mg---Ca}$	H_2SiO_3 (0,058—0,091); Fe (0,020—1,12)	0,5—2,5 0,8—3,2	Ширлан, Турш-Су, Келабек, Нор-Башгих
Аджаро-Триалетская зона	$\text{HCO}_3\text{---Na};$ $\text{HCO}_3\text{---Cl---Na}$	H_2SiO_3 (0,06—0,116); H_3BO_3 (0,070—0,170); As (0,001—0,004)	0,8—3,0 0,4—25,9	Божомни, Вашловани, Цинтубани, Цакалакви, Вардзий
Армянская зона	$\text{HCO}_3\text{---Na};$ $\text{HCO}_3\text{---SO}_4\text{---Na---Mg};$ $\text{HCO}_3\text{---Cl---Na};$ $\text{Cl---HCO}_3\text{---Na}; \text{Cl---Na}$	H_2SiO_3 (0,05—0,130); H_3BO_3 (0,0008—2,4); Fe (0,028—0,125); As (0,0002—0,120)	0,9—3,5 0,14—32,7	Арзни, Пт-ми, Радан, Азатгван, Двин, Анкаван, Арзакан, Бжни, Багырсах, Личк

Памирская область

$\text{HCO}_3\text{---Ca};$ $\text{HCO}_3\text{---Na}$ (Na—Ca); $\text{HCO}_3\text{---Ca---Na---Mg};$ Ca—Mg; $\text{HCO}_3\text{---SO}_4\text{---Ca---Mg};$ Na—Ca—Mg; $\text{HCO}_3\text{---Cl---Na};$ Ca—Na; Na—Ca—Mg	H_2SiO_3 (0,052—0,169); Fe (0,031—0,038); F (0,0036)	0,6—1,7 0,6—4,8	Гарм-Чашма, Жунт, Кызыл-Рабат, Бахмыр, Джарты-Гумбоз, Харгуш, Инлив, Абхаре, Ачикташ
---	--	-----------------	--

Тянь-Шаньская область

$\text{HCO}_3\text{---Ca}; \text{Ca---Mg};$ Na—Ca—Mg; $\text{HCO}_3\text{---SO}_4\text{---Ca---Mg};$ $\text{HCO}_3\text{---Cl---Na};$ Ca—Na; Cl—Na; Na—Ca	H_2SiO_3 (<0,035); H_3BO_3 (0,024); Зr (0,0018); Li (0,005); Fz (редко 0,020)	0,5—3,0 0,9—35,0	Джарташ, Санг-Хок, Анзол, Байбале, Саустер, Бесерльчир-Арасан, Чиг-яркуль, Нижний и Берхний Цнтты, Ахаркиура, Конур-Тобе, Кара-Шура, Кара-Киче
--	---	------------------	--

50 Продолжение табл. 35

Структурно-тектонические зоны	Химический состав вод	Щелочной компонент (содержание, г/л; Rn, Бк/л)	CO ₂ растворенная, г/л	Общая минерализация, г/л	Месторождения, источник
<i>Забайкальская область</i>	HCO ₃ —Ca—Mg (Mg—Ca); HCO ₃ —Na—Mg—Ca; HCO ₃ —Na; HCO ₃ —C—Na; Na—Ca—Mg	H ₂ SiO ₃ (0,039—0,090); Rn (185—3500); Fe (0,022)	0,7—3,6	1,1—16,4	Дарасунское, Кукни-ское, Ямзоровское, Шивандинское, Молоковское, Балейское, Ямкунское, Солоненное
<i>Восточно-Саянская область</i>	HCO ₃ —Ca—Mg—Ca; HCO ₃ —Na; Na—Mg—Ca; HCO ₃ —Ca—Na; SO ₄ —HCO ₃ —Na—Mg—Ca; Mg—Ca, Ca—Mg	H ₂ SiO ₃ (0,013—0,088); Fe (0,005—0,023); Rn (200—2200)	0,6—2,1	2,4—4,2	Шандал-Ой, Уран-Сай, Сарикта, Шуманское, Чайганское, Аршан
<i>Приморская область</i>	HCO ₃ —Na; HCO ₃ —Ca—Mg; Na—Mg—Ca	H ₂ SiO ₃ (0,092); H ₃ BO ₃ (0,094—0,254); Fe (0,020—0,050)	0,5—3,0	0,7—15,2	Шарковка, Мухенское, Ласточка, Наймукские
<i>Сахалинская область</i>	HCO ₃ —Na; Na—Ca; HCO ₃ —Cl—Na; Cl—HCO ₃ —Na	H ₂ SiO ₃ (0,070); H ₃ BO ₃ (0,217—2,9); Fe (0,020—0,050)	0,9—2,7	4,0—25,7	Матрозовское, Побединское, Сянегорское
<i>Центрально-Камчатская область</i>	HCO ₃ —SO ₄ —Na; SO ₄ —HCO ₃ —Ca; Ca—Mg; Cl—HCO ₃ —Na; Na—Mg	H ₂ SiO ₃ (0,090—0,191); Fe (0,020); As (0,0078)	0,5—2,65	2,4—5,0	Озерковское, Малкинское, Ужинское, Тымлакское, Пушкинское, Налачевское

Минеральные воды: углекислые сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-магниевые (иногда трехкомпонентные по катионному составу) типа Нарзан; гидрокарбонатно-сульфатные различного катионного состава типа Подкумские и Абано; сульфатно-гидрокарбонатные натриевые, часто термальные, типа Железноводск и Исти-Су обычно имеют минерализацию 2—5, иногда 10—12 г/л. Источником обогащения вод сульфатами являются загипсованные породы или сульфидные минералы.

В лечебно-питьевом и бальнеологическом отношении широкой известностью пользуются хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) углекислые воды, распространенные преимущественно в Закарпатье, Большом и Малом Кавказе. Отдельные источники выявлены в северо-западной части Западной Сибири.

По составу выделяют три основных типа этих вод: эссентукский — хлоридно-гидрокарбонатный натриевый с минерализацией 3—14 г/л; сойминский — хлоридно-гидрокарбонатный, обогащенный кальцием и магнием с минерализацией 2—7 г/л; арзнинский — гидрокарбонатно-хлоридный с минерализацией 5—25, иногда до 37 г/л.

Отдельные источники углекислых вод сложного анионного состава (типа Пятигорский, Кумский) известны на Малом Кавказе, в Забайкалье и на Камчатке. Их минерализация колеблется от 2,5 до 7 г/л. Углекислые воды хлоридного типа, высокоминерализованные и рассолы встречаются на Большом и Малом Кавказе, в Закарпатье, на Камчатке, т. е. в областях современной или недавно угасшей вулканической деятельности.

Углекислые воды часто кроме CO_2 содержат другие газы. Газовый комплекс вод определяется историей геологического развития структур и литолого-геохимическими особенностями слагающих пород. Для осадочных толщ характерно сонахождение CO_2 с H_2S , CH_4 (C_2H_6 , C_3H_8). В зонах мантийного рифтогенеза, где проявились процессы молодого магматизма, газовый комплекс углекислых вод представлен CO_2 , H_2S , He, H_2 , а в районах современного вулканизма — CO_2 , H_2S , SO_2 , SO_3 , N_2 , He, NH_3 , HCl, HF, CH_4 (C_2H_6 , C_3H_8 и др.). По газовому комплексу среди углекислых вод выделяют собственно углекислые, азотно-углекислые, метаново-углекислые и т. д.

По содержанию в углекислых водах биологически активных компонентов Г. В. Куликов и А. В. Жевлаков выделяют: собственно углекислые — монокомпонентные воды; сероводородно-углекислые; радоново-углекислые, кремнисто-углекислые, железисто-углекислые, мышьяковисто-углекислые,

борно-углекислые и т. д.— бикомпонентные воды; кремнисто-сероводородно-углекислые, радоново-кремнисто-углекислые, железисто-кремнисто-углекислые и другие поликомпонентные минеральные воды (табл. 3.6). Газонасыщенность определяется содержанием растворенной углекислоты в единице объема углекислых вод и выражается обычно числом миллиграммов, граммов или миллилитров CO_2 в 1 л воды (при давлении $9,8 \cdot 10^4$ Па).

Для пересчета миллилитров CO_2 в миллиграммы объем растворенного CO_2 , приведенный к нормальным условиям, следует умножить на коэффициент $\frac{M}{22\,414}$, где M — молекулярный вес CO_2 , равный 44,01. Содержание растворенного CO_2 в углекислых водах может изменяться в широких пределах от $<0,5$ г/л до нескольких десятков граммов на литр (в глубоких горизонтах). Максимальное содержание растворенной углекислоты (до 40 г/л) отмечено в подземных водах районов на КМВ на глубине 1300 м. Концентрация газов в водах может быть выражена газовым фактором — соотношением между объемами газа и воды, который обычно составляет 4—5, иногда может достигать 15—220. Соотношение между растворенным и свободным CO_2 , выделяющимся при выходе углекислых вод на поверхность, колеблется от 1 до 4, но иногда может достигать значительно больших величин. С ростом давления растворимость CO_2 в воде значительно увеличивается, а с повышением температуры — снижается. Растворимость CO_2 также зависит от химического состава минеральной воды. Углекислота оказывает влияние на образование гидрокарбоната в минеральных водах в соответствии с реакцией: $\text{CO}_2 + \text{OH}^- = \text{HCO}_3^-$.

Условия формирования и распространения углекислых вод. Основные районы распространения углекислых вод в СССР расположены в зонах альпийской складчатости, Средиземноморского (Закарпатье, Кавказ, Памир) и Камчатско-Курильской части Тихоокеанского подвижных поясов [28]. В зонах более древней складчатости наличие углекислых вод установлено только в пределах территорий, затронутых кайнозойской тектонической и тектоно-магматической активизацией (Забайкалье, Восточный Саян, Тянь-Шань и некоторые другие районы). Формирование их обусловлено поступлением углекислоты из недр земли, образующейся в результате проявления магматических и термометаморфических процессов.

В пределах всей Средиземноморской провинции проявились позднекиммерийская и альпийская складчатости, со-

Таблица 3.6

Углекислые минеральные воды (по Г. В. Куликову, А. В. Жавлакову, 1987 г.)

Группа минеральных вод	Тип минеральных вод	Физико-химическая характеристика вод				Температура, °С
		Ионно-солевой состав	Биологически активные компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Общая минерализация, г/л		
I. Монокомпонентные воды						
I. Углекислые	Боржомский, Поляно-Кзасовский, Саирме, Улеуский, Железноводский (Славяновский), Кисловодский, Лалин-Гюкский, Ессентульский, Севанский	НСО ₃ — различного катионного состава SO ₄ — HCO ₃ — различного катионного состава НСО ₃ — SO ₄ — различного катионного состава Cl — HCO ₃ — различного катионного состава	CO ₂ (500—1400) CO ₂ (1400—2500) CO ₂ (1400—2500) CO ₂ (> 2500)	< 1 5—10 5—10 5—10	< 20 20—37 20—37 37—42	
II. Бикомпонентные воды						
1. Сероводородно-углекислые	Северокавказский (Ессентуки I)	Cl — HCO ₃ — Na	CO ₂ (> 500); H ₂ S, HS ⁻ (> 10)	5—10	20—37	
2. Радонно-углекислые	Молоковский, Тувинский (Тоджинский), Хмельницкий, Пятигорский (Академический),	HCO ₃ — Mg — Ca, Ca, Ca — Fe; Cl — HCO ₃ — Na — Ca; SO ₄ — HCO ₃ — Cl — Ca — Na	CO ₂ (> 500); Rn (> 185)	< 1, 1—5	20—37	

Группа минеральных вод		Физико-химическая характеристика вод			
		Тип минеральных вод	Ионно-солевой состав	Биологически активные компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Общая минерализация, г/л
3. Кремнисто-углекислые	Набеглачи, Урчуганский, Авдхарский, Кисловодский (скв. 8), Арлан-Тунканский, Джемукский, Истин-Су, Гармаша, Арзни, Анкаванский	$\text{HCO}_3\text{---Ca---Na}$; Na---Ca ; Mg---Na ; Mg---Ca ; $\text{SO}_4\text{---HCO}_3\text{---Na}$, Na---Ca ; Mg---Ca ; $\text{SO}_4\text{Cl---HCO}_3\text{---Ca---Na}$; $\text{Cl---HCO}_3\text{---Na}$, $\text{HCO}_3\text{---Cl---Ca---Na}$	CO_2 (> 50); H_2SiO_3 (> 50)	> 1 ; $1\text{---}5$; $5\text{---}10$	< 20 ; $20\text{---}37$; $37\text{---}42$; > 42
4. Железисто-углекислые	Дарасунский, Ласоткинский, Кызылджанский (с. Слабунка), Баканский, Чернореченский (Приморье)	$\text{HCO}_3\text{---Na}$; Na---Ca ; Ca---Mg ; Mg---Ca---Na ; $\text{SO}_4\text{---HCO}_3\text{---Ca}$; $\text{Cl---HCO}_3\text{---Ca---Na}$; Na---Ca---Mg	CO_2 (> 500); Fe (> 10)	< 1 ; $1\text{---}5$; $5\text{---}10$	< 20
5. Мышьяковистые углекислые	Вардьянский, Квасы Рахоевские	$\text{Cl---HCO}_3\text{---Na}$; $\text{HCO}_3\text{---Cl---Ca---Na}$	CO_2 (> 500); As ($> 0,7$)	$1,5$; $5\text{---}10$	< 20 ; $20\text{---}37$; $37\text{---}42$; > 42
6. Борные углекислые	Ленинканский (Норбер № 2), Авазанский	$\text{HCO}_3\text{---Cl---Na}$	CO_2 (> 500); H_3BO_3 (> 50)	$5\text{---}10$	< 20
7. Углекислые хлоридные	Закарлатский (Ростока и Усть-Черна)	$\text{HCO}_3\text{---Cl---Na}$; Cl---Na (Ca---Na)	CO_2 (> 500); NaCl (> 10 (0,00))	> 10	< 20 ; $20\text{---}37$; $37\text{---}42$; > 42

III. Полкомпонентные в жбл

1. Сероеородно-кремнисто-углекислые	Пятигорский (скв. 16)	(скв. $\text{SO}_4\text{—HCO}_3\text{—Cl—Ca—Na}$)	$\text{CO}_2 (> 5.0)$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50)$; $\text{H}_2\text{S} (> 10)$	5—10	> 42
2. Радоново-кремнисто-углекислые	Шуминский (Буятыцкий), Бачарсахский (Исти-Су)	$\text{HCO}_3\text{—Mg—Ca}$; $\text{Cl—HCO}_3\text{—Na}$	$\text{CO}_2 (> 5.00)$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50)$; Rn (> 185)	1—5; 5—10	< 20; 37—42
3. Железисто-кремнисто-углекислые	Кукский № 31 (Забайкальский), Шмаковский (Уссурйский), Дильжанский (с. 2), Жун, Гарм-Чашминский	$\text{HCO}_3\text{—Na (Mg—Ca)}$; $\text{Ca—Mg; SO}_4\text{—HCO}_3\text{—Na—Mg—Ca}$	$\text{CO}_2 (> 500)$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 5)$; $\text{F}_2 (> 10)$	1—5	< 20
4. Мышьковисто-кремнисто-углекислые	Исти-Су (скв. 4), Верхнеармадонский № 9	$\text{Cl—HCO}_3\text{—Na; Cl—Na}$	$\text{CO}_2 (> 5.00)$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50)$; As (> 0.7)	5—10	> 42
5. Гидро-мышьяковисто-кремнисто-углекислые	Сахалинский (скв. 17, 18), Синегорские	$\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$	$\text{CO}_2 (> 5.0)$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50)$; As (> 0.7); I (> 5); NaCl (> 10.000)	> 10	< 20

56 Продолжение табл. 3.6

Группа минеральных вод	Тип минеральных вод	Физико-химическая характеристика вод			
		Ионно-солевой состав	Биологически активные компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Общая минерализация, г/л	Температура, °С
6. Борно-кремнисто-углекислые	Горбатовский (скв. 4)	$\text{HCO}_3\text{---Cl---Na}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 5);$ $\text{H}_3\text{BO}_3 (> 50)$	5—10	<20
7. Иодно-кремнисто-углекислые хлоридные	Разданский (скв. 5)	Cl---Na	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50);$ $(> 5);$ $\text{NaCl} (> 10\,000)$	> 10	20—37
8. Мышьяковисто-кремнисто-йодоборные углекислые хлоридные	Двинский (скв. 24)	$\text{HCO}_3\text{---Cl---Na}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50);$ $\text{H}_3\text{BO}_3 (> 50);$ $\text{I} (> 5); \text{I}^- (> 0.7);$ $\text{NaCl} (> 10\,000)$	> 10	<37
9. Мышьяковисто-кремнисто-фторидные хлоридные	Азатованский	Cl---Na	$\text{CO}_2 (> 50);$ $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50);$ $\text{H}_3\text{BO}_3 (> 50);$ $\text{As} (> 0.7);$ $\text{NaCl} (> 10\,000)$	> 10	37—42
10. Кремнисто-углекислые хлоридные	Сирабский (скв. 10), Нахичеванский, Разданский (Армянский)	$\text{HCO}_3\text{---Cl---Na}; \text{Cl---Na}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_2\text{SiO}_3 (> 50);$ $\text{NaCl} (> 10\,000)$	> 10	20—37

11. Мышьяковисто-борно-йодо-бромные углекислые хлориды	Джультинский I	$\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_3\text{BO}_3 (> 50);$ $\text{I} (> 5); \text{Br} (> 25);$ $\text{As} (> 0.7);$ $\text{NaCl} (> 10\ 000)$	> 10	20—37
12. Борно-железисто-углекислые хлориды	Нораман (скв. 50)	Cl—Na	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_3\text{BO}_3 (> 50);$ $\text{Fe} (> 10);$ $\text{NaCl} (> 10\ 000)$	> 10	20—37
13. Мышьяковисто-борно-углекислые хлориды	Джультинский II	$\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_3\text{BO}_3 (> 50);$ $\text{As} (> 0.7);$ $\text{NaCl} (> 10\ 000)$	> 10	20—37
14. Мышьяковисто-углекислые хлориды	Квасы Раховские (скв. 2), Нахчеванский (скв. 1), Нагаджир-Шорейский (скв. 7), Джульфа	$\text{Cl—Na}; \text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{As} (> 0.7);$ $\text{NaCl} (> 10\ 000)$	> 10	$< 20; 20\text{—}37;$ $37\text{—}42$
15. Радонно-железисто-углекислые	Хмельникский, (скв. 2-р)	$\text{Cl—HCO}_3\text{—Na—Ca}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{Fe} (> 10);$ $\text{Rn} (> 185)$	1—5	< 20
16. Фумарольные	Курильский, Кунаширский	$\text{Cl—SO}_4\text{—HCO}_3\text{—Na}$	$\text{CO}_2 (> 500);$ $\text{H}_2\text{S} (> 10);$ $\text{H}_2\text{SO}_3 (> 50);$ $\text{Fe} (> 10)$	2—10	42—100

Т а б л и ц а 3.7

Углекислые борные гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные

Районы углекислых минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика	Физико-химическая	
		Основной химический состав; минерализация, г/л	
Карпатский	Юрско-палеогеновый; песчаники, глинистые сланцы, мергели, известняки	Cl—HCO ₃ —Ca—Na; HCO ₃ —Mg—Ca; 1—12;	редко до 30
	Миоцен-Плиоценовый; терригенно-карбонатные молассовые отложения	Cl—HCO ₃ —Na; HCO ₃ —Cl—Na; 1—20	
Закарпатский	Верхнеплиоценовый; андезито-базальты, туфы	Cl—HCO ₃ —Ca—Na;	<2,0

проходящие процессами регионального метаморфизма и вулканизма. Однако в Горном Крыму и Копетдаге орогенный этап развития протекал без проявления покровообразования и магматизма, что отразилось на условиях формирования углекислых вод.

Карпатская область. В ее пределах выделяют Предкарпатский, Карпатский (флишевый) и Закарпатский районы минеральных вод. Углекислые воды Карпатской области формируются в пределах Выгорлат-Гутинской зоны вулканизма и прилегающих к ней районах флишевых Карпат и Закарпатского прогиба (табл. 3.7).

Углекислые воды, распространенные в антиклинорной зоне Карпатского (флишевого) района — в пределах Раховского массива и Чивчинский гор, имеют гидрокарбонатный магниевый-кальциевый и натриевый состав с минерализацией 4—11 г/л и более (Поменская группа месторождений). Близ Раховского массива углекислые воды имеют повышенные содержания мышьяка (до 43 мг/л), железа (до 25 мг/л), бора (H₃BO₃ до 633 мг/л), брома (до 60 мг/л), йода (до 17 мг/л — Квасы Раховские). Углекислые воды приурочены к зонам тектонических нарушений.

В синклинорной зоне Карпатского района углекислые воды имеют в основном хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый состав с минерализацией 5—12 г/л и более (источники Сойминские, Келечинские и др.). Встречаются также гидрокарбонатные магниевый-кальциевые углекислые воды с минерализацией 1—2 г/л (источники Верхне-Быстрый,

натриевые воды Карпат

характеристика вод		Основные месторождения, источники, скважины
	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	
	CO ₂ (1000—5000); H ₃ BO ₃ (<633); Fe (<40); As (<43)	Верхне-Быстрый, Сойминское, Келечинское, Квасы Раховские
	CO ₂ (700—2000); H ₃ BO ₃ (100—150)	Вышково, Шаян, Берегово
	CO ₂ (<1700); H ₂ SiO ₃ (<90)	Ужгородское

Сойминский). Формирование углекислых вод связано с постмагматическими и термометаморфическими процессами.

В Закарпатском районе углекислые воды локализованы в пределах зоны Припанонского разлома (источники Вышково, Шаян и др.) с содержанием CO₂ до 2 г/л. Термальные углекислые воды характеризуются повышенным количеством кремниевой кислоты (до 150 мг/л). В пределах Выгорлат-Гутинской гряды, представляющей собой молодой вулканический пояс, месторождения углекислых вод приурочены к туфам гутинской свиты, осложненным системой ортогональных разломов глубокого заложения. По составу они хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые с минерализацией 1,5 г/л, содержанием CO₂ 1,7 г/л и H₂SiO₃ 90 мг/л.

С процессами альпийского рудогенеза в Карпатской области связано повышенное содержание в минеральных водах бора, мышьяка, железа, ртути, сурьмы и других элементов.

Преобладание в Карпатах в основном холодных углекислых вод обусловлено надвиговой структурой области с малой глубиной циркуляции инфильтрационных вод.

Крымско-Кавказская область. В ее геологоструктурном плане выделяются сооружения Горного Крыма, Большого и Малого Кавказа. Углекислые воды различного состава и минерализации широко развиты в пределах Центрального Кавказа, где проявился неоген-плиоценовый вулканизм. В Центральном и Малом Кавказе углекислые воды характеризуются высоким содержанием бора, связанного с обогащенностью им

горных пород, включая соленосные молассы впадин, в результате проявления в Южном борозном поясе интенсивных поствулканических кайнозойских, а в Горном Крыму — мезозойских процессов. В Горном Крыму углекислые воды (Сент-Элинские источники) развиты очень ограниченно, по существу, только в чокракских известняках на периклинальном замыкании мегантиклинория в пределах Керченского п-ова (Горностаевское месторождение углекислых вод). Участок этот отличается сложным геологическим строением, обусловленным деятельностью грязевого вулканизма. Воды хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 8—12 г/л. Содержание углекислоты колеблется от 0,5 до 1,5 г/л. В ряде источников отмечены повышенные содержания йода, брома, бора, сероводорода. Происхождение CO_2 минеральных вод может быть объяснено не только процессами термометаморфизма, но и окислением залежей углеводородов.

Широким распространением углекислых вод характеризуется район Центрального Кавказа, включающий наиболее поднятые участки Главного хребта и Минераловодский выступ. В водоносном этаже складчатого фундамента этого района известно много источников углекислых вод (Джилли-Су, Баксан-Баши, Верхний Кармадон и др.). Воды имеют гидрокарбонатный кальциевый и гидрокарбонатно-хлоридный натриевый состав. Формирование углекислых вод обусловлено процессами молодого вулканизма и термометаморфизма. В водах отмечаются повышенные содержания железа (до 20—90 мг/л), мышьяка (до 40 мг/л), кремниевой кислоты (до 80 мг/л), бора (HBO_2 до 100—2400 мг/л). В подземных углекислых водах, приуроченных к участкам развития пегматитовых гранитов и красноцветных песчаников, отмечены повышенные концентрации радона.

В нижней зоне геосинклинального водоносного этажа углекислые воды имеют гидрокарбонатно-хлоридный натриевый состав и минерализацию до 10—35 г/л (источники Они, Пасанаури и др.); в верхней зоне — гидрокарбонатный натриевый состав и минерализацию 3—5 г/л (источники Уллу-Хурзук, Джемагат и др.). Отмечаются в углекислых водах повышенные концентрации мышьяка (до 15 мг/л), железа (до 25 мг/л) и кремнекислоты (до 150 мг/л). Углекислые воды флишевых отложений имеют гидрокарбонатный натриевый состав и минерализацию 5—20 г/л (месторождение Уцера). По южному склону Большого Кавказа вблизи Главного надвига и других глубинных разломов развиты углекислые борные воды с содержанием HBO_2 до 3000 мг/л (ист. Пасанаури).

В районе Кавказских минеральных вод геосинклинальный этаж в пределах артезианского склона включает титон-валанжинский, апт-альбский, верхнемеловой и палеогеновый водоносные комплексы.

Наибольшую ценность углекислые воды титон-валанжинского комплекса приобретают в районе г. Кисловодска. По составу они сульфатно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые с минерализацией до 5—6 г/л. При погружении на северо-восток углекислые воды этого комплекса становятся хлоридно-гидрокарбонатными натриевыми и минерализация их повышается до 8—16 г/л (Ессентуки, Пятигорск). Углекислые воды апт-альбского водоносного комплекса (Ессентуки, Железноводск, Пятигорск) имеют гидрокарбонатно-сульфатный, а в зоне замедленного водообмена — хлоридный натриевый состав. Минерализация вод изменяется от 2 до 20 г/л и более.

Углекислые воды палеогенового комплекса (ессентукский, горячего ключа, фораминиферовый водоносные горизонты) имеют хлоридно-гидрокарбонатный натриевый состав с минерализацией 8—13 г/л (Ессентуки № 4, 17 и др.), сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый состав с минерализацией 3—4 г/л (ист. Славяновский, им. Семашко и др.).

В изверженных породах ортодокса и щелочного состава орогенного комплекса (олигоцен-четвертичного) на ряде лакколлитов отмечены повышенные содержания радиоактивных элементов. Поэтому углекислые воды здесь (курорт Пятигорск II) содержат до 8000 Бк/л радона. Значительные концентрации радона (370—12 210 Бк/л) в слабоуглекислых водах элювиально-делювиальных отложений и травертинах отмечены также в Пятигорске I.

Преимущественным распространением углекислых вод характеризуется район Малого Кавказа. В пределах Малого Кавказа широко развиты углекислые воды различного химического состава от гидрокарбонатных кальциевых, магниевых и натриевых до хлоридных натриевых рассолов.

В комплексе основания, распространенном в пределах срединных массивов и на поднятиях Малого Кавказа, углекислые воды имеют хлоридно-гидрокарбонатный или гидрокарбонатно-хлоридный состав (Анкован, Арзакан, Бжни и др.) с повышенными содержаниями кремниевой кислоты (до 110—150 мг/л), бора (HBO_3 до 50—100 мг/л), мышьяка (до 0,8 мг/л), лития (до 0,8 мг/л) и других компонентов. Температура вод источников Анкован достигает 45°C.

В флишевых отложениях (геосинклинальный комплекс) Аджаро-Триалетского участка углекислые воды имеют гидро-

карбонатный натриевый состав (Боржоми). Углекислые воды многих месторождений этого участка — гидрокарбонатные кальциево-магниевые с минерализацией до 2 г/л (Саирме, Набеглави, Ахалцихе, Вардзия и др.). Среди гидрокарбонатно-хлоридных вод выделяются два основных бальнеологических типа: Эссентукский (Багырсах, Бадамлы, Вайхыр, Зваре и др.) и Арзнинский (Аргхел, Дараят, Нагаджир и др.).

Углекислые воды орогенного и более древних комплексов своим формированием связаны с верхнеплиоценовым — постплиоценовым вулканизмом. В пределах Малого Кавказа выделяют западную и восточную вулканические зоны. К западной относятся: Джавахетская и Арагацкая вулканоструктурные подзоны, а к восточной — Гагамская, Айоцзор-Варденисская и Сюникская подзоны. Вулканическое нагорье отличается развитием маломинерализованных холодных и горячих углекислых вод. В пределах Айоцзор-Варденисской подзоны находится месторождение углекислых термальных вод с температурой 55—61°C (Джермук). Состав их сульфатно-гидрокарбонатный натриевый, минерализация 4—5,5 г/л. Они содержат мышьяк (0,7—1,5 мг/л) и кремниевую кислоту (80—100 мг/л). Углекислые воды орогенного комплекса часто обогащены железом, мышьяком и другими элементами (Сарцали, Арзни, Аргхел и др.). В Ереванском, Ленинканском, Приараксинском и других бассейнах с соленосными фациями развиты углекислые высокоминерализованные (до 100 г/л) хлоридные натриевые воды и рассолы (Раздан, Кара-Кала, Птгни). Эти воды характеризуются повышенными концентрациями бора (HBO_2 до 500—2000 мг/л) и мышьяка (до 1—1,5 мг/л — Дараят, Двин и др.). В Ленинканском и Ереванском артезианских бассейнах углекислые воды содержат до 120 мг/л сероводорода.

С гранодиоритами, трахидацитами и травертинами орогенного комплекса, обогащенными радиоактивными элементами, связано формирование углекислых радоновых вод. Состав их хлоридно-гидрокарбонатный натриевый с минерализацией 5—6,6 г/л (Багырсах), содержание радона достигает 5000—15 000 Бк/л и радия до $1 \cdot 10^{-10}$ г/л. Температура вод составляет 18—24°C. В термальных водах концентрация радона невелика. Формирование радона в углекислых водах происходит за счет эманирования радия в приповерхностной трещиноватой зоне изверженных пород и травертинах.

Памир. Широким распространением углекислых вод характеризуется Южный Памир, относящийся к альпийской складчатой зоне. В его пределах выделяются структуры

Юго-Западного Памира, сложенные метаморфическими толщами (Ваханский район), магматическими и метаморфическими породами докембрия (Алигурский район), и Юго-Восточного Памира, сложенные дислоцированными осадочными толщами палеозоя и мезозой-кайнозоя (Гурумдинский район). Наиболее богат углекислыми водами Юго-Западный Памир. Углекислые трещинно-жильные и пластово-трещинные воды комплекса основания приурочены к зонам разломов и трещинам в гнейсах, кристаллических сланцах, мраморах и амфиболитах. По составу воды гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые или натриевые с минерализацией 0,3—4,5 г/л и температурой от 7 до 76°C. В холодных и термальных углекислых водах часто содержится кремнекислота (до 50—150 мг/л), железо (до 10—60 мг/л), бор (НВО₂ до 250, максимально 6800 мг/л), фтор (до 16 мг/л). Содержание углекислоты находится в пределах от 0,5 до 2,2 г/л. Так, холодная (7 °С) углекислая вода (СО₂=2,2 г/л) гидрокарбонатного магниевое-кальциевого состава с минерализацией 1,5 г/л (ист. Романит) содержит 60 мг/л кремниевой кислоты и 61 мг/л железа.

В орогенном комплексе источники углекислых вод редки и в нем широко распространены термальные воды. Углекислые воды на Памире развиты в основном вдоль зон Южно-Памирского и Гунт-Алигурского разломов.

Сульфатно-гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-сульфатные слабоуглекислые грунтовые воды с минерализацией до 2 г/л в пределах Южного Памира генетически связаны с метаморфическими докембрийскими и палеозойскими породами (ист. Сист, Шигхарв, Харгуш). Несколько источников таких вод выявлено в Центральном Памире.

Холодные и теплые гидрокарбонатные натриевые и кальциево-натриевые углекислые воды, распространенные в основном в Алигурском и Гурумдинском районах (ист. Ачикташ, Бахтиер, Бахмыр, Михман-Джулы и др.), связаны с участками развития процессов содового засоления.

Холодные (до 12 °С) сульфатно-гидрокарбонатные углекислые воды с минерализацией от 2 до 5 г/л генетически связаны с пиритизированными мраморами и гнейсами докембрия, слагающими Абхарвскую антиклиналь. Основные источники этих вод сосредоточены в долине р. Гарм-Чашма.

Наиболее широкое распространение на Памире имеют углекислые кремнистые термы хлоридно-гидрокарбонатного кальциево-натриевого состава с минерализацией до 5 г/л, в большинстве случаев до 3 г/л (ист. Гарм-Чашма, Даршай, Ширгин, Лянгар, Джарты-Гумбез и др.). Они связаны в ос-

новном с мраморами и гнейсами докембрия (Виханский и Аличур-Гурумдинский районы). Воды обогащены бором и бромом.

Камчатско-Курильская область. Камчатский полуостров и Курильские острова представляют собой единую вулканическую зону Средиземноморского пояса. В этой зоне оказались очень активными позднемеловые и кайнозойские породоразрушающие процессы, которые временами приводили к обнажению складчатого сиалического фундамента. Интенсивно проявляющийся современный вулканизм определяет особенности ее гидрогеологических условий.

В кристаллических, метаморфических и вулканических породах комплекса основания формируются углекислые гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-хлоридные кальциевонариевые воды с минерализацией 1—5 г/л. Содержание в них свободной углекислоты достигает 2,5—3 г/л, железа 20 мг/л, мышьяка 5 мг/л, бора 260 мг/л, кремнекислоты 150 мг/л (ист. Малкинские, Хейванские и др.).

Геосинклинальный комплекс характеризуется широким развитием углекислых вод. В них содержатся повышенные количества мышьяка (5—10 мг/л), бора (до 300 мг/л) и кремнекислоты (до 150 мг/л) (ист. Ожинские, Быстринские, Озерновские и др.). Газовый состав углекислых вод геосинклинального комплекса наиболее разнообразный. Выделяются сероводородно-углекислые (фумарольные), азотно-углекислые и углекислые термы.

Фумарольные термы формируются вблизи активных вулканических очагов. Процессы выщелачивания вулканических пород кислыми термами приводят к обогащению последних различными элементами (Fe, Al, Ca, Na, Si, Ba, F и др.). Среди газов присутствуют H_2S , CO_2 , CO, HCl, HF, SO_2 , H_2 . Термы часто имеют сульфатно-хлоридный или хлоридный состав (ист. Узонские, Менделеевские, Кислый Ключ, Белый Ключ). Температура термальных вод достигает 100 °С. Азотно-углекислые термы часто связаны с обширными кальдерами и крупными депрессиями, заполненными вулканогенными породами (месторождения Паужетское, Долина Гейзеров, Горячий пляж). Состав вод хлоридный, хлоридный натриевый с минерализацией до 5 г/л. Отмечаются высокие содержания бора (HBO_2 до 150—400 мг/л) и кремнекислоты (до 400 мг/л).

Углекислые термы формируются в глубоких водоносных горизонтах артезианских и адартезианских бассейнов. Они имеют различный химический состав и минерализацию до 3 г/л. Температура их доходит до 50, редко до 75 °С (ист. На-

лачевские, Дачные и др.). Содержание бора (HBO_3) достигает 200 мг/л.

Сахалинская область. Минеральные углекислые воды области развиты в верхнемеловом-палеогеновом (геосинклинальном) и неоген-четвертичном (орогенном) водоносных комплексах. Углекислые воды геосинклинального комплекса имеют гидрокарбонатный натриевый состав с минерализацией 2—5 г/л (группа Матросовских источников). Формируются они в зоне глубинного разлома в краевой части Поронайского артезианского бассейна. В орогенном комплексе (в песчаниках и конгломератах неогена) в пределах зон, осложненных глубинными разломами, вскрыты углекислые воды (Синегорское месторождение). Они имеют гидрокарбонатно-хлоридный состав и минерализацию до 25,7 г/л. В них содержатся в повышенных концентрациях мышьяк (до 60 мг/л), йод (до 10 мг/л), кремнекислота (до 60 мг/л и более) и бор (до 2500 мг/л).

Вблизи Южно-Сахалинска известны метаново-углекислые воды грязевых вулканов. Формируются они у подножья вулканов и в непосредственной близости от них или поступают вместе с грязью в результате эруптивной деятельности вулканов. Воды гидрокарбонатного состава имеют минерализацию 2,5—4,8 г/л и содержат 52—117 мг/л бора, а воды гидрокарбонатно-хлоридного натриевого состава характеризуются более высокой минерализацией от 9 до 25 г/л и содержанием бора от 100 до 500 мг/л и более.

Кроме зон альпийской складчатости, где углекислые воды имеют региональное распространение, они формируются в Тянь-Шаньской, Восточно-Саянской, Забайкальской и Приморской областях, в пределах территорий затронутых кайнозойской тектонической и тектоно-магматической активизацией.

Тянь-Шань. В Тянь-Шане углекислые воды имеют локальный, очаговый характер распространения. Отдельные выходы углекислых вод установлены в Гиссарском, Ферганском, Чартыкульско-Аксайском районах и Фергано-Кокшаальской структурной зоне. В Гиссарском районе локальные, небольшие по дебиту (до 1,5 л/с) выходы углекислых вод приурочены к тектонически нарушенным известнякам и сланцам силура (ист. Санг-Хок и Оби-Шир), т. е. к зонам активных современных геолого-тектонических процессов (ист. Анзод). Наибольшее содержание углекислоты в водах достигает 3,3 г/л.

В Ферганском районе выходы углекислых вод приурочены к глубоким врезам крупных долин рек Яссы, Каракульджи,

Суска, Каракола и др. Состав вод верхней части разреза юрских отложений — гидрокарбонатный или хлоридно-гидрокарбонатный натриевый с минерализацией до 5 г/л. В нижней части горы воды имеют более высокую минерализацию (до 40 г/л) и хлоридный натриевый состав. Выходы источников углекислых вод приурочены к зонам трещиноватости (месторождения Карашура в Яссинской долине). Содержание углекислоты изменяется от 0,6 до 3,5 г/л.

В Чатыркульско-Аксайском районе углекислые воды проявляются в зонах сопряжения горных хребтов с крупными межгорными депрессиями. В этом районе известно 4 месторождения углекислых вод. По составу воды гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, натриево-кальциевые и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые. Минерализация их изменяется от 2,3 до 25 г/л; содержание углекислоты — от 1,4 до 3,0 г/л (ист. Бесбельчир-Арасан, Уселек и Чатыркуль — скв. 5); воды холодные, с температурой от 6 до 19 °С. В повышенных концентрациях в углекислых водах Тянь-Шаня содержатся: Fe, Ba, Sr, Zn, Li и H_2SiO_3 . Содержание железа (в закисной форме) обычно достигает 10—20 мг/л.

Восточный Саян. В Восточном Саяне углекислые воды распространены только в его юго-восточной части, где с молодыми разломами связаны мощные трещинные излияния базальтовой магмы в неогеновое и четвертичное время (ист. Перетолчина, Кропоткина и др.). Все источники углекислых вод приурочены к тектоническим узлам вблизи проявления четвертичного вулканизма (Восточно-Саянский, Кандатский, Чойганский, Тиссинский глубинные разломы). Источники углекислых вод распространены здесь в двух основных зонах: 1) по долинам рек Кадыр-Ос, Сорук, Уран-Сай и других притоков реки Кижихем (ист. Арысканские, Шандал-Ойские, Кадыр-Осские, Уран-Сайские); 2) по долинам рек Соруг, Баче-Соруг, Изыг-Сур, Тиссы, Сенцы. Третья зона углекислых вод приурочены к Тункинскому разлому (ист. Шумакские, Аршанские). Углекислые воды Восточного Саяна холодные, теплые и горячие. Содержание углекислоты в них колеблется от 0,8 до 2,3 г/л. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, кальциево-магниевые, натриево-кальциевые (кальциево-натриевые) и сложного катионного состава (ист. Шойдал-Ой, Надыр-Ос, Исвен, Тиссинские, Сарикта, Арысканские, Биче-Соругские, Шутхулайские). Встречаются сульфатно-гидрокарбонатные воды (ист. Кадыр-Осский, Арышан). Они часто содержат железо (5—20 мг/л), кремниевую кислоту (13—88 мг/л), радон

(200—2200 Бк/л). Общая минерализация углекислых вод изменяется от 1 до 4,2 г/л.

Забайкальская область. Углекислые воды Забайкалья представлены многочисленными (около 300) источниками, большинство из которых находится в Восточном Забайкалье, значительно меньше в Западном. Выходы углекислых вод приурочены к зонам тектонических разрывных нарушений или контактам молодых интрузий.

В трещинно-жильных водонапорных системах Забайкалья разведаны месторождения углекислых вод Дарасун, Ямаровка, Кука, Шиванда, Молоковка и др. В артезианских бассейнах межгорных впадин, наложенных на тектонически раздробленные породы фундамента и представляющие собой своеобразные ловушки для накопления поступающих из фундамента углекислоты и пересыщенных углекислотой вод, в осадочной толще бассейнов формируются месторождения углекислых вод. Такие месторождения установлены в Ингодакском (Карповское), Торейском (Зун-Торейское) и Балейском (Балейское) бассейнах.

По химическому составу углекислые воды Забайкалья в основном гидрокарбонатные магниево-кальциевые (Дарасунский тип), реже натриевые, магниево-кальциево-натриевые (Солонечный и Балейский типы). Только в Юго-Восточном Забайкалье встречаются хлоридно-гидрокарбонатные воды (Торейский тип).

Воды Дарасунского типа мало минерализованы (1—3 г/л), с низкой температурой (2—3 °С), крайне редко до 20 °С (месторождение Ямкун). Минерализация вод Торейского типа доходит до 6 г/л, а Балейского — до 16 г/л. В углекислых водах Забайкалья содержатся микроэлементы: Fe, Li, Sr, H_2SiO_3 , а также Ba, Mn, P, Al, Cd, Te, Sb. Кроме того в водах Торейского типа содержатся Br и B, а в водах Балейского — As. Углекислые воды Забайкалья характеризуются высоким газонасыщением. Количество растворенной углекислоты в них изменяется от 2,5 до 3,9 г/л. На участках распространения кислых интрузий и продуктов их разрушения, обогащенных радиоактивными элементами, развиты радоновые углекислые воды.

Приморская область. Выходы углекислых вод в Приморье (и южной части Хабаровского края) приурочены к разрывным тектоническим нарушениям и районам молодых вулканических очагов.

Имеется несколько зон выходов углекислых вод: Приханкайская зона приурочена к краевой части Ханкайского массива (ист. Раковские, Шмаковские, Ласточка, Черноре-

ченский и др.); Даубинская — к Даубинскому надвигу и кайнозойским разломам (ист. Покровский, Марьяновский, Большой ключ, Ариаднинский и др.); Прибрежно-Сихотэ-Алиньская — к кайнозойским разломам Сихотэ-Алиньского сводового поднятия (ист. Нижние Лужки, Аввакумовские и др.); Прибрежная зона связана с многочисленными кайнозойскими разломами вблизи Тетюхинского надвига (ист. Сандагоу, Рудничный, Хрустальный и др.); на юге Хабаровского края Западно-Сихотэ-Алиньская в полосе развития плиоцен-нижнечетвертичных базальтов (ист. Мухенские), Харничинская (ист. Наймуки) и Кертинская (ист. Кертинские). Все углекислые воды являются холодными (4—15 °С). По химическому составу они гидрокарбонатные кальциевые и магниевые-кальциевые, кальциевые-магниевые-натриевые и натриевые.

Углекислые гидрокарбонатные кальциевые и магниевые-кальциевые воды часто бывают кремнистыми и железистыми с минерализацией 0,14—2,5 г/л. В некоторых источниках содержание железа в водах изменяется от 18 до 48 мг/л, а кремниевой кислоты от 66 до 99 мг/л.

Углекислые гидрокарбонатные кальциевые-натриевые и кальциевые-магниевые-натриевые воды также часто являются железистыми, минерализация их изменяется от 1,2 до 4,3 г/л. Минерализация углекислых гидрокарбонатных натриевых вод колеблется от 2,5 до 15 г/л. Они обогащены бором ($\text{HBO}_2 = 94 - 254$ мг/л), содержание растворенной углекислоты в водах Приморского края составляет 2,4—3,3 г/л.

3.2. Сероводородные воды

Сероводородные (сульфидные) минеральные воды — природные воды различных минерализаций и ионного состава, содержащие более 10 мг/л общего сероводорода. Они используются в лечебных целях [15]. В зависимости от степени диссоциации сероводорода различают следующие разновидности минеральных вод: 1) собственно сероводородные, содержащие недиссоциированный сероводород; 2) гидросульфидные, содержащие преимущественно HS^- ; 3) гидросульфидно-сероводородные.

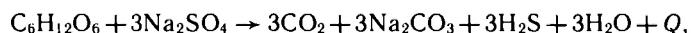
Образование сероводорода. Сероводород представляет собой бесцветный ядовитый газ, образующийся при соединении серы с водородом. Происхождение сероводорода связано с биогенным или химическим восстановлением сульфатных минералов, а также с магматической деятельностью. В при-

поверхностных условиях магматический сероводород окисляется с образованием SO_2 , SO_3 , H_2SO_3 , H_2SO_4 , сульфатов, сернистых металлов и самородной серы. Окисные соединения серы в благоприятной геохимической среде могут быть генераторами сероводорода.

Наиболее высокие содержания H_2S установлены в подземных водах нефтегазоносных областей. Максимальные его концентрации в водах достигают 3500—10 000 мг/л [21].

Известно несколько основных процессов образования биогенного сероводорода:

В подземной гидросфере наиболее распространено микробиологическое окисление органических веществ за счет восстановления сульфатов согласно реакции



где Q — количество теплоты, Дж.

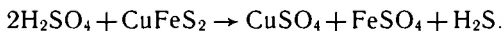
Первые сведения о наличии сульфатредуцирующих бактерий в подземных водах нефтяных месторождений были получены Т. Л. Гинзбург-Карагичевой. Жизнедеятельность бактерий *Microspira desulfuricans* или *Vibrio desulfuricans* определяется присутствием в подземных водах сульфатных ионов и органического вещества в условиях восстановительной обстановки.

На развитие сульфатредуцирующих бактерий существенное влияние оказывает внешняя среда: температура, давление, общая минерализация и химический состав подземных вод. Оптимальными для жизнедеятельности бактерий считаются температура от 27 до 60 °С, гидростатическое давление 370—400 · 10⁵ Па. Отрицательное воздействие на жизнедеятельность бактерий оказывает высокое содержание в водах ионов кальция и магния. Восстановительная геохимическая обстановка с сероводородом часто возникает в бескислородных водах богатых сульфат-ионом. Появление в водах H_2S приводит к формированию восстановительного барьера, в пределах которого образуются нерастворимые сульфиды тяжелых и цветных металлов (Fe, V, Co, Ni, Cu, Zn, As, Ag, Pb, Cd, Hg).

Поэтому наличие металлов и особенно железа в толщах пород — неблагоприятный фактор для накопления сероводорода в подземных водах.

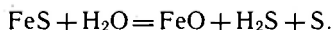
Исключение составляет сернокислый сульфидный процесс образования биогенного сероводорода в зоне цементации сульфидных месторождений. Здесь серная кислота и сульфаты тяжелых металлов, поступающие из зоны окисления, взаимодействуют с первичными сульфидными рудами. В резуль-

тате сернокислого сульфидного процесса образуются сульфиды тяжелых металлов и сероводород



Исследованиями В. А. Щека, В. М. Швеца и Е. А. Кладовщикова (1987 г.) установлено, что энергетическим материалом процесса сульфатредукции на месторождении Кемери является воднорастворимое органическое вещество. В процессе образования сероводорода большую роль играет свободный кислород, участвующий в окислении жирных кислот до водорода. Выделившийся водород используется сульфатредуцирующими бактериями для восстановления серы. Источником серы служат ионы сульфатов, образующиеся при растворении гипса.

Известен также процесс образования сероводорода при гидролитическом разложении сернистых металлов в условиях высоких температур согласно реакции



Кроме того, установлен процесс термохимического восстановления сульфатов углеводородами или водородом при температурах более 200—500 °С и давлении более 100 Па



Таким образом, формирование сероводорода в подземных водах обусловлено биохимическими и чисто химическими процессами. Однако количество сероводорода, формирующегося чисто химическим путем, относительно невелико. Большое значение имеет процесс биохимического восстановления сульфатов (табл. 3.8)

Т а б л и ц а 3.8

Растворимость сероводорода в воде при давлении $1 \cdot 10^5$ Па

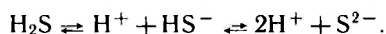
Температура, °С	Коэффициент абсорбции, см ³	Количество газа, растворяющегося в 100 г воды, г
0	4,67	0,707
10	3,40	0,511
20	2,58	—
30	2,04	0,298
40	1,66	0,236
50	1,39	0,188
60	1,19	0,148
80	0,917	0,077
100	0,81	0

Таблица 3.9

Формы производных сероводородной кислоты в зависимости от рН воды

Формы производных H ₂ S	Содержание производных сероводородной кислоты в воде (в %) при рН						
	4	5	6	7	8	9	10
H ₂ S	99,91	92,1	91,66	52,35	8,81	1,09	0,10
HS ⁻	0,09	7,90	8,34	47,65	90,19	98,91	99,89
S ²⁻	—	—	—	—	—	—	0,002

Водный раствор сероводорода — слабая кислота. Диссоциация сероводорода протекает по уравнению



Между сероводородом и гидросульфидом в минеральной воде устанавливается равновесие, зависящее от концентрации ионов водорода (рН). Для слабокислых вод установлено преобладание H₂S, а для щелочных — HS⁻ (табл. 3.9) и только в сильнощелочной среде появляется ион S²⁻.

В работе Г. Н. Плотниковой отмечается, что сероводород встречается в засоленных почвах, болотах и торфяниках, иловых отложениях озер и морей, подземных водах, углеводородных газах и газах вулканического происхождения [21].

Содержание сероводорода в пределах Оренбургского газо-конденсатного месторождения составляет 15—20%. В fumarольных термах Камчатки и Курильских островов содержание сероводорода достигает 300 мг/л. По содержанию сероводорода В. В. Иванов выделяет 5 основных групп минеральных вод (табл. 3.10).

Химический состав сероводородных вод. Сероводородные воды представлены весьма различными по ионному составу, общей минерализации и концентрации растворенного сероводорода группами.

Г. Н. Плотникова по составу анионов и катионов выделяет шесть групп сероводородных вод.

I. Хлоридные кальциевые, магниевые-кальциевые и натриево-кальциевые рассолы с общей минерализацией 350—600 г/л.

II. Хлоридные натриевые.

III. Хлоридно-сульфатные натриевые.

IV. Сульфатные.

V. Гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые и магниевые-кальциевые.

Т а б л и ц а 3.10

Основные группы, подгруппы и типы сероводородных вод (по Иванову В. В., 1982 г., с изменениями)

Группы вод (содержание $H_2S + HS^-$, мг/л)	Подгруппы по соотношению H_2S/HS^-	Характерные типы вод	Минерализация, г/л	Основные месторождения, источники
Слабосероводородные (10—50)	б	Хиловско-Кемерский	2—3	Хилово, Кемеро
	в	Сухумский	5—15	Сухуми, Ейск
	в	Серноводский	2—5	Серноводск, Овилово
	б	Пятигорский	5—25	Пятигорск, Калаборск
Среднесероводородные (50—100)	б	Сергиевский	2—5	Сергиевские минеральные воды, Любень Великий
	г	Кумагорский	2—5	Кумагорск
	г	Менджи	5—15	Менджи
Крепкие сероводородные (100—250)	г	Шиховский	15—20	Шихово
	б	Тамисский	2—5	Тамисск
	б	Нукутский	35—150	Нукуты, Сызрань
	б	Старо-Мацестинский	5—15	Старая Мацеста
Очень крепкие сероводородные (250—500)	б	Ново-Мацестинский	25—35	Новая Мацеста
	б	Усть-Качкинский	35—150	Хоста, Кудепста
Ультракрепкие сероводородные (500—3000)	б	Талгинский	5—10	Талги, Чимион
	б	Лючобский	10—20	Лючоб
	а	Гаурдакский	150—350	Гаурдак
	а	Тыретьский-Балыхтинский	350—600	Тыреть, Балыхта

П р и м е ч а н и я : а — воды сероводородные (при $pH < 6,5$); б — воды гидросульфидно-сероводородные (при $pH = 6,5 - 7,0$); в — воды сероводородно-гидросульфидные (при $pH = 7,0 - 7,5$); г — воды гидросульфидные (при $pH > 7,5$).

VI. Хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) натриевые [21].

Для хлоридно-кальциевых рассолов, встреченных в Ангаро-Ленском и Припятьском бассейнах, характерно высокое содержание сероводорода (до 1—3 г/л) и брома

(до 2—7 г/л). В связи с кислой реакцией ($pH=4,5-6$) в рассолах преобладает молекулярный сероводород. Хлоридные натриевые сероводородные воды имеют наибольшее распространение на территории страны. Характерными их представителями являются месторождения Усть-Качки, Ишимбай, Красноусольск, Гаурдак, Нукуты, Талги, Мацеста. По содержанию сероводорода среди них преобладают крепкие ($H_2S=100-250$ мг/л), очень крепкие ($H_2S=250-500$ мг/л) и ультракрепкие ($H_2S=500-3000$ мг/л) рассолы.

Хлоридно-сульфатные натриевые воды широко развиты в пределах Волго-Уральской области и Южно-Туранской плиты. Концентрации сероводорода в них достигают 200—900 мг/л (ист. Ключи, Лючоб, Шугурово). Общая минерализация вод составляет 3—30 г/л.

Сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые и магниевые-кальциевые воды имеют развитие в Прикарпатье (месторождения Немиров, Шкло, Любень Великий), Поволжье (Сергиевские минеральные воды), на Кавказе (месторождения Тамиск и Гагра) и в Прибалтике (месторождение Кемери). Содержание сероводорода составляет 20—400 мг/л. Общая минерализация вод не превышает 5 г/л.

Хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) воды имеют ограниченное распространение на Кавказе (Предкавказье и Апшеронский полуостров), на Керченском полуострове, в Молдавии и Средней Азии. Концентрации сероводорода в водах этого типа составляют от 20 до 300 мг/л. Воды отличаются малой и средней минерализацией.

По содержанию в сероводородных водах биологически активных компонентов среди них выделяют: монокомпонентные, бикомпонентные и поликомпонентные (табл. 3.11).

Условия формирования и распространения сероводородных вод. Сероводородные воды как эффективный лечебный фактор находят широкое применение в бальнеотерапии. В СССР они используются на многих курортах, в санаториях и бальнеолечебницах Мацесты, Талги, Шихова, Горячего Ключа, Немирова, Кемери, Усть-Качки, Чимиона, Арчмана, Нукутов и др.

Среди сероводородных вод Советского Союза по генезису и составу Г. Н. Плотникова выделяет следующие 5 основных групп:

1. Инфильтрационные воды выщелачивания соленосных толщ от крепких (до 350 г/л) хлоридных натриевых (в отдельных случаях сульфатно-хлоридных) рассолов до сильно разбавленных вод сложного состава (Гаурдакские, Нукутские, Трускавецкие, Красноусольские воды).

Сероводородные минеральные воды (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Физико-химическая характеристика вод			
		Ионно-солевой состав	Биологически активные компоненты (содержание мг/л; Rп, Бх/л)	Общая минерализация, г/л	Температура, °С
I. Монокомпонентные					
1. Сероводородные	Молдавский (Кришоармейск, Леушевы), Кемери, Великолуцкий, Сергиевский, Немировский, Тамбовский, Тбилисский, Керченский, Талгинский, Молдавский (Унгрен), Ейский, Нефтечалинский;	HCO_3-Na , $\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Ca}$; $\text{Cl}-\text{HCO}_3-\text{Na}$ HCO_3-SO_4 ; SO_4 ; $\text{Cl}-\text{SO}_4$; $\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{Na}$; SO_4-Cl — различно окатионного состава; $\text{Cl}-\text{Na}$	H_2S , HS^- (10—150) H_2S , HS^- (> 150)	1—5 5—10	< 20; 20—37 37—42; > 42
II. Биоконцентные					
1. Кремнисто-сероводородные	Уш-Белдирский, Тайрисикий, Гагринский, Серноводск-Кавказский	$\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Na}$; $\text{SO}_4-\text{Na}-\text{Mg}-\text{Ca}$; $\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{Na}$	H_2S , HS^- (> 10); SiO_2 (> 50)	< 1; 1—5	20—37; 37—42; > 42
2. Йодно-сероводородные	Западнокопетдагский	$\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{Na}$; $\text{Cl}-\text{Na}$	H_2S , HS^- (> 10); I (> 5)	5—10	< 20; 20—37

3. Бромно-сероводородные	Балханский, Исфаринский	Cl—SO ₄ —Na; Cl—Na	H ₂ S, HS ⁻ (>10); Br (>25)	5—10	20—37
4. Сероводородные хлоридные	Сользачеголский, Октябрьский, Кызыл-Тумшукский, Старамадинский, Менджийский	SO ₄ —Cl—Na; Ca—Na; Ca—Mg—Na; Cl—Na	H ₂ S, HS ⁻ (>10); NaCl	>10	<20; 20—37; 37—42
11. Поликомпонентные					
3. Сероводородные кремнисто-углеистые	Пятигольский (скв. 16)	SO ₄ —HCO ₃ —Cl—Ca—Na	H ₂ S (>10); H ₂ SiO ₃ (>50); CO ₂ (>500)	5—10	>42
2. Сероводородные бромные хлоридные	Сарагольский (Соколовая Гора), Балыхтинский (с кв. 5, Иркутский)	Cl—Na Cl—Ca	H ₂ S, HS ⁻ (>10); Br (>25); NaCl	>10	<20; 20—37
3. Сероводородные йодные хлоридные	Малдакский (Уигены скв. 13), Кальмьцкый (Комсомольский, скв. 56)	SO ₄ —Cl—Na; Cl—Na	H ₂ S, HS ⁻ (>10); I (>5); NaCl	>10	<20; 20—37
4. Сероводородные йодо-бромные хлоридные	Куйларский (Туркменский, источник 9)	Cl—Na	H ₂ S, HS ⁻ (>10); I (>5); Br (>25); NaCl	>10	20—37
5. Сероводородные йодные хлоридные	Источники Ожый (Западн.-Туркменская низменность)	Cl—Na	H ₂ S, HS ⁻ (>10); H ₃ BO ₃ (>50); I (>5); NaCl	>10	20—37

Продолжение табл. 3.11

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Физико-химическая характеристика вод			
		Ионно-солевой состав	Биологически активные компоненты (соле, жание, мг/л; Р, Бк/л)	Общая минерализация, г/л	Температура, °С
6. Сероводородные борные йодные	Ханчирский (источник 49, Колетдаг)	$\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$	$\text{H}_2\text{S}, \text{HS}^- (>10); \text{H}_3\text{BO}_3 (>50); \text{I} (>5)$	1—5	<20 20—37
7. Сероводородные борные хлоридные	Куйлярский	Cl—Na	$\text{H}_2\text{S}, \text{HS}^- (>10); \text{H}_3\text{BO}_3 (>50); \text{NaCl}$	>10	<20
8. Сероводородные борные бромные хлоридные	Иго-ник Северный (гряшевой вулкан — Западная Туркмения)	Cl—Na	$\text{H}_2\text{S}, \text{HS}^- (>10); \text{H}_3\text{BO}_3 (>50); \text{Br} (>25); \text{NaCl}$	>10	<20
9. Сероводородные кремнистые хлоридные	Шиховский (скв. 1334 Азербайджан), Чанть-Аргунский	$\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}; \text{Cl—Na}$	$\text{H}_2\text{S}, \text{HS}^- (>10); \text{SiO}_2 (>50); \text{NaCl}$	>10	20—37; >42
10. Сероводородные кремнистые мышьяковистые	Жирозский (Камчатский)	$\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Cl—Na}$	$\text{H}_2\text{S}, \text{HS}^- (>10); \text{SiO}_2 (>50); \text{As} (>0.7)$	<1	>42
11. Фумарольные	Узонский (вулкан), Кунашский (Кислый Ключ, Курильский)	$\text{Cl—SO}_4\text{—Na}; \text{Cl—SO}_4\text{—HCO}_3\text{—Na}$	$\text{H}_2\text{S}, \text{HS}^- (>10); \text{SiO}_2 (>50); \text{Fe} (>10); \text{CO}_2 (>500)$	1—5; 5—10	>42

2. Инфильтрационные воды выщелачивания гипсоносных отложений, образующие сульфатные кальциевые или магниво-кальциевые воды (M до 5 г/л) в зоне активного водообмена, и сульфатно-хлоридные натриевые и хлоридные натриевые воды (M до 15—20 г/л и выше) в зоне замедленного водообмена (Ключевские, Унгены, Лючобские, Шугуровские, Талгинские воды).

3. Инфильтрационные воды, образующиеся в слабозасоленных карбонатных или песчано-глинистых породах, метаморфизованные в процессе сульфатредукции хлоридно-гидрокарбонатного натриевого состава с минерализацией преимущественно до 15 г/л (ист. Шиховские, Псекупские, Серноводские, Леушены, Майли-Сай).

4. Воды морского и смешанного генезиса — хлоридные натриевые рассолы с M 35—350 г/л и воды с M до 36 г/л, формирующиеся в зоне замедленного водообмена (ист. Усть-Качка, Мацестинские, Поховистневские, Арчиньян).

5. Седиментационные бромные рассолы с M 350—600 г/л, хлоридные кальциевые, магниво-кальциевые и натриево-кальциевые в негипсовых и подсолевых отложениях (ист. Тыретские, Балыхтинские, Ельские).

Основные факторы формирования и распространения сероводородных вод — геолого-структурные, формационные, гидрогеохимические, гидродинамические и геотермические.

Наиболее благоприятны для формирования сероводородных вод предгорные прогибы и впадины платформ, межгорные впадины и прогибы древних и молодых горно-складчатых областей (табл. 3.12). Эти геологические структуры часто характеризуются нефтегазоносностью.

Основные формации прогибов и впадин — молассовые отложения, представленные песчано-глинистыми и карбонатными, часто флишевыми осадками и эвапоритами. Возраст этих осадков от нижнего кембрия до кайнозоя.

Сероводород — основной потенциалзадающий элемент подземных вод, поэтому крепкие и очень крепкие сероводородные воды характеризуются наиболее низкими значениями окислительно-восстановительного потенциала (Eh изменяется от —100 до —450 мВ). Геохимическая обстановка водоносных горизонтов с сероводородными водами, как правило, восстановительная или резко восстановительная.

Среди сероводородных вод преобладают инфильтрационные, циркулирующие в зоне интенсивного водообмена. В закрытых нефтяных структурах с замедленным водообменом процесс сульфатредукции развивается лишь при добыче нефти, особенно с закачкой подземных вод. Он подтверждает

Т а б л и ц а 3.12

Характеристика областей распространения сероводородных вод СССР

Области	Районы	Гидрогеологическая структура; литологический состав и возраст водоносного горизонта	Химическая характеристика	
			Минерализация, г/л	Типичный ионный состав
Прикарпатская	1. Предкарпатский	Артезианский склон северо-западной части Русской платформы; известняки и гипсоангидриты N_1	1—6	SO_4-Ca ; HCO_3-SO_4-Ca
	2. Львовский	Предкарпатский бассейн; соленосные породы N_1	70—350	$Cl-Na$; $SO_4-Cl-Na$
	3. Закарпатский	Львовский бассейн; известняки D	20—120	$Cl-Na$; $SO_4-Cl-Na$
Молдавская	1. Красноармейский 2. Унгенский 3. Кагульский	Закарпатский межгорный бассейн; туфы и туфобрекчии, известняки и песчаники N_1	<2	$SO_4-Na-Ca$
			<30	$Cl-Na$; $HCO_3-Cl-Na$
			2—10	HCO_3-Na ; $Cl-HCO_3-Na$
Крымско-Кавказская	1. Керченский	Молдавский бассейн Припрутская депрессия; известняки N_1	6—15	$Cl-HCO_3-Na$
			50—60	$Cl-Na$
	2. Крымский	Керченская система малых артезианских бассейнов; известняки и мергели N_1, P, K	10—35	$Cl-Na$; $SO_4-Cl-Na$; $HCO_3-Cl-Na$
			2—5	$Cl-Na$; $HCO_3-Cl-Na$
3. Азово-Кубанский	Южная часть Причерноморского бассейна и Судакско-Феодосийская складчатая зона; известняки N_1, P, K	2—7	$Cl-Na$; $HCO_3-Cl-Na$	
		2—10	$HCO_3-Cl-Na$	
4. Терско-Кумский	Азово-Кубанский артезианский бассейн (южное крыло); пески и песчаники P_2, N_1	<5		
	Терско-Сунженский бассейн; песчаники N_1			

(по Г. Н. Плотниковой, 1981 г.)

вод		Генезис вод и сероводорода	Характерные месторождения, источники
	Содержание $H_2S + HS^-$, мг/л		
50 (20—450)		Инфильтрационные воды выщелачивания гипсоносных отложений*	Немиров, Любень, Великий, Шкло, Язов
20—120		Рассолы выщелачивания соленосных битуминозных пород*	Трускавец
30—60		Воды смешанного генезиса в карбонатных слабобитуминозных породах*	Нестеров, Великие Мосты
20—30		Биохимическое восстановление сульфидов, образовавшихся при окислении пирита с использованием органики почвенных растворов	Синяк
30—50		Инфильтрационные воды в карбонатных отложениях с невысокой сульфатностью и битуминозностью*	Русские Комаровцы, Теребля
10—50			Красноармейское, Леушены, Карпинены
50—150			Унгены, Загоранча, Скуляны
50—100			Кагул
150—700		Инфильтрационные и смешанного генезиса воды в нефтеносных слабопромытых отложениях*	Чокрак, Каралар, Айман-Каюн
<70		Инфильтрационные воды в относительно промытых битуминозных и слабобитуминозных отложениях*	Керчь, Мошкаревка
15—20 , иногда <130			Котовское, Саки, Феодосия, Ближнее
20—100			Кумагорск, Горячий Ключ, Ахтырск
20—50			Серноводск, Грозный, Исти-Су

Продолжение табл. 3.12

Области	Районы	Гидрогеологическая структура; литологический состав и возраст водоносного горизонта	Химическая характеристика	
			Минерализация, г/л	Типичный ионный состав
		Моноклиальный склон Большого Кавказа; загипсованные известняки и доломиты K_1, J_3	4—10	$SO_4—Mg—Ca;$ $HCO_3—Cl—Na$
		Центральная и притеречная части Терско-Кумского артезианского бассейна; известняки и ангидриты K_1	70—150	$Cl—Na$
	5. Дагестанский	Дагестанский артезианский бассейн; известняки K_2 , песчаники и пески N_1	7—80	$Cl—Na$
			2—15	$HCO_3—Na$
	6. Апшеронский	Апшеронская система малых артезианских бассейнов; песчаники N_2	10—15	$Cl—Na;$ $HCO_3—Cl—Na$
	7. Сочинский	Сочи-Адлерский артезианский бассейн; известняки K_1, J_3	18—40	$Cl—Na$
	8. Абхазский	Абхазо-Менгрельский артезианский бассейн; известняки $K_2—F_2$	3—35	$Cl—Na$
	9. Куринский	Куринский артезианский бассейн; песчаники и туфогенные породы $K_2—N$	4—8	$Cl—Na$
	10. Восточно-Кавказский	Восточно-Кавказская гидрогеологическая складчатая область; сланцы $J_1—2$, флиш $J_3—F_2$	1—15	$HCO_3—Cl—Na$

вод		Генезис вод и сероводорода	Характерные месторождения, источники
	Содержание $H_2S + HS^-$, мг/л		
	50—250	Воды выщелачивания гипсоносных и битуминозных отложений*	Тамиск, Белая Речка (Нальчик), Датых, Чанты-Аргунская
	100—1000	Сульфидные рассолы, формирующиеся при термохимическом восстановлении сульфатов углеводородами в галогенных битуминозных породах при температуре $> 200^\circ C$	Галюгаевская, Перекрестная, Малгобек
	30—600	Инфильтрационные воды в карбонатных, обычно загипсованных отложениях в различной степени битуминозных*	Талги, Башлы
	< 100 , иногда выше 100—300	Воды нефтяных месторождений в пиритизированных и сульфатсодержащих песчано-глинистых толщах*	Каякент, Алты-Боюн, Исти-Су Шихово, Сураханы, промысел им. Орджоникидзе
	400—650	Воды смешанного (морского и инфильтрационного) генезиса в карбонатных в различной степени битуминозных толщах*	Мацеста, Хоста, Кудепста, Мамайка
	20—70		Сухуми, Менджи, Цаиши
	100—250	Воды нефтяных месторождений в песчаных толщах с пиритом и сульфатными минералами*	Нефтечала, Далляр
	< 50 , редко выше	Инфильтрационные воды в промытых отложениях; биогенное восстановление сульфатов, образовавшихся за счет разложения аутигенного	Октомбери, Диаллы, Чухурюрт

Продолжение табл. 3.12

Области	Районы	Гидрогеологическая структура; литологический состав и возраст водоносного горизонта	Химическая характеристика		
			Минерализация, г/л	Типичный ионный состав	
	11. Аджаро-Триалетский	Аджаро-Триалетская гидрогеологическая складчатая область; туфы, песчаники $N_1 - P$	0,2—3	Сложного состава	
	12. Ленкоранский	Ленкоранская гидрогеологическая складчатая область; песчаники и вулканогенные породы P_2	1—15	$HCO_3 - Cl - Na$; $Cl - Na$	
Черноморско-Азовская	1. Южно-Украинский	Северные части Причерноморского бассейна; известняки D_3	7,5	$Cl - Na$	
	2. Приазовский	Азово-Кубанский бассейн; известняки N_1 , пески и песчаники N_1 ; K_2	2—10	$Cl - Na$; $HCO_3 - Cl - Na$	
Днепровско-Припятская	1. Ельский	Припятский артезианский бассейн; карбонатные и соленосные отложения D_3	350	$Cl - Na$	
Северо-Европейская	1. Западный	Северные части Прибалтийского и Московского бассейнов; загипсованные известняки D_3	< 2	$HCO_3 - SO_4 - Ca$	
	2. Северный	Северо-Двинский артезианский бассейн; гипсоносные известняки и доломиты P_1 , известняки C_3	< 15	$SO_4 - Cl - Na$; $SO_4 - HCO_3 - Ca$	
Тимано-Печерская	—	Печерский сложный артезианский бассейн; известняки и доломиты D_3 , C , P	1—17	$Cl - Na$	

вод		Генезис вод и сероводорода	Характерные месторождения, источники
	Содержание $H_2S + HS^-$, мг/л		
10—50		пирита, реже при растворении сульфатных минералов органикой поверхностного происхождения и рассеянных в породе битумов	Тбилиси, Ахалдаба
10—50, изредка <100			Ибадису, Субрет
<125		Инфильтрационные воды выщелачивания относительно промытых (слабо битуминозных и с незначительным содержанием сульфатов) карбонатных и песчаных отложений; биохимическая сульфатредукция с накоплением гидрокарбонатов	Татарбунары
20—80			Ейск, Староминская, Куликово, Староветровка
370		Седиментационные (межсолевые) рассолы с древним (погребенным) сероводородом	Ельск
20—50		Биохимическая сульфатредукция в результате контакта сульфатных вод выщелачивания с торфяной или иловой (озерной) органикой	Кемери, Балдоне, Хилово
10—70			Сольвычегодск
10—100		Инфильтрационные воды в слабо промытых битуминозных морских осадках*	Ухта, Иска-Шор, Веселый Кут

Продолжение табл. 3.12

Области	Районы	Гидрогеологическая структура; литологический состав и возраст водоносного горизонта	Химическая характеристика	
			Минерализация, г/л	Типичный ионный состав
Волго-Уральская	1. Верхне-Камский	Верхне-Камская впадина; сильно загипсованные карбонатные P_1 и терригенные отложения C_{1-3} , местами D	150—300	Cl—Na
	2. Башкирский	Пермско-Башкирский свод; гипсоносные известняки и доломиты P_1 , иногда песчано-глинистые породы P_2	3—9	SO_4 —Ca—Na; SO_4 —Cl—Na
			80—300	Cl—Na
	3. Татарский	Татарский свод, Сокско-Шешминские дислокации; загипсованные карбонатные P_{1-2} и терригенные отложения C_1 местами D	3—9	SO_4 —Mg—Ca; HCO_3 — SO_4 — Mg—Na
			35—250	
4. Жигулевско-Оренбургский	Жигулевско-Оренбургский свод, северная часть Бузулукской впадины; сильно загипсованные известняки, доломиты, песчаники P_{1-2} , в том числе бобриковский горизонт	90—280	Cl—Na	
5. Предуральский	Предуральский прогиб; рифогенные известняки P_1 , карбонатные отложения с просями гипсов и ангидритов P_1 , терригенные C_{1-3} отложения	4—15	SO_4 —Cl— Na—Ca и HCO_3 — SO_4 — Cl сложного катионного состава	
		250—280	Cl—Na	
Копетдагская	—	Копетдаг-Большебалханская складчатая область; известняки K_{1-2} , J_3 , песчано-	< 15, иногда выше	SO_4 —Ca

вод		Генезис вод и сероводорода	Характерные месторождения, источники
	Содержание $H_2S + HS^-$, мг/л		
	200	Воды нефтяных месторождений морского и смешанного генезиса*	Краснокамск, Мишкино, Кудымкар
	100—150	Воды выщелачивания гипсоносных битуминозных пород*	Ключи, Казанчи
	100, нередко 500—2000	Преимущественно метаморфизованные морские воды*	Усть-Качка, Куеда, Дороховская
	30—350	Воды выщелачивания гипсоносных битуминозных пород*	Сергиевские, Шугурово, Сарабикулово
	60—600	Воды смешанного генезиса, реже морские метаморфизованные*	Байтуган, Альметьевск, Кизнер
	100—250, <1200	Метаморфизованные морские воды и воды смешанного генезиса*	Похвистнево, Отрадное, санаторий им. Чапаева, Куйбышев
	Обычно 100, иногда <500	Инфильтрационные воды выщелачивания гипсоносных и битуминозных пород*	Красноусольск, Кын
	100—1800	Преимущественно метаморфизованные морские воды*	Березники, Ишимбай, Оренбург
	20—50, иногда <1500	Воды выщелачивания относительно промытых отложений*	Арчман, Фирюза, Арчиньян, Небит-Даг, Куйляр

Продолжение табл. 3.12

Области	Районы	Гидрогеологическая структура; литологический состав и возраст водоносного горизонта	Химическая характеристика		
			Минерализация, г/л	Типичный ионный состав	
Гаурдак-Кугитанская	—	глинистые отложения N ₂ Гиссарская гидрогеологическая складчатая область; известняки, гипсы, ангидриты	100—300	Cl—Na	
Афгано-Таджикская	1. Кулябский	Кулябский артезианский бассейн; известняки с прослоями доломитов P, N, ангидритов P	120	Cl—Na	
	2. Вахшский	Вахшский артезианский бассейн; известняки K ₂ , известняки, песчаники P ₂	14—200	Cl—Na; SO ₄ —Cl—Na; Cl—Ca—Na	
	3. Сурхан-Дарьинский	Сурхан-Дарьинский артезианский бассейн; известняки, доломиты K ₂ , P	15—230	Cl—Na; SO ₄ —Cl—Na	
	4. Душанбинский	Душанбинский артезианский бассейн; известняки, доломиты, песчаники, аргиллиты P, K ₂ , J ₃	Преимущественно < 35	Cl—Na; SO ₄ —Cl—Na	
Ферганская	—	Ферганский артезианский бассейн; известняки, песчаники, аргиллиты P	3—150, реже 200	HCO ₃ —Cl—Na; Cl—SO ₄ —Na; Cl—Na	
Ангаро-Ленская	—	Ангаро-Ленский артезианский бассейн; доломиты, известняки, загипсованные и засоленные надсолевого комплекса E, песчаные и карбонатные прослойки в галогенных и подсолевых отложениях E	< 5	SO ₄ —Cl—Mg—Ca—Na	
	—	—	35—300	Cl—Na	
—	—	—	270—550	Cl—Na—Mg—Ca; Cl—Na—Ca; Cl—Ca	

* Происхождение сероводорода за счет биохимической сульфатредукции

вод		Генезис вод и сероводорода	Характерные месторождения, источники
	Содержание $H_2S + HS^-$, мг/л		

100—400 1000—2500	Рассолы выщелачивания соленосных и битуминозных толщ*	Гаурдак
50—450, иногда < 800	Преимущественно инфльтрационные воды в слабо промытых загипсованных отложениях нефтегазоносных структур*	Пушион, Кызыл-Су
50—180	Метаморфизованные инфльтрационные воды в слабо промытых загипсованных отложениях нефтегазоносных структур*	Кызыл-Тумшук
Преимущественно 100, иногда < 500 250—500, часто 500—800 и до 2300		Уч-Кызыл, Джейран-Хана, Ляль-Микар Лючоб, Андыген, Шаамбары
10—100, 200—500, иногда более		Чимион, Оби-Шифо, Раштан, Северный Сох
< 100	Воды выщелачивания загипсованных битуминозных отложений*	Нукуты (верхний горизонт)
50—300	Рассолы выщелачивания галогенных битуминозных отложений*	Нукуты, Половина, Новоусольск, Ереминская
500, часто 1200—2000	Метаморфизованная рапа древнего солеродного бассейна с погребенными сульфидами	Оса, Тыреть, Балыхта

с использованием битумов коренных пород.

важную роль гидродинамического фактора для жизнедеятельности сульфатредуцирующих бактерий.

Среди крепких и очень крепких сероводородных вод преобладают холодные с температурой 20 °С (Волго-Уральская, Ангаро-Ленская и другие области). Теплые и очень горячие воды многих месторождений, например Серноводска (50 °С), Сухуми (29 °С), Арчмана (37 °С), Ущ-Белдира (82 °С), Жировского (99 °С), обычно слабо- или среднесероводородные ($H_2S + HS^- < 100$ мг/л).

Для поисков новых месторождений сероводородных вод перспективны нефтегазоносные бассейны краевых прогибов и впадин платформ, межгорных впадин горно-складчатых областей, области распространения гипсов и ангидритов. В пределах платформ выделяют следующие наиболее перспективные территории: Предкарпатский и Предуральский прогибы, Причерноморскую, Азово-Кубанскую, Терско-Каспийскую, Прикаспийскую, Бухаро-Хивинскую, Ангаро-Ленскую и Печорскую впадины; в пределах горно-складчатых областей — Ферганскую, Рионскую, Куранскую и Западно-Туранскую впадины.

В нефтегазоносных бассейнах древних платформ развиты преимущественно высокоминерализованные сероводородные воды и рассолы, обогащенные бромом. В молодых платформах сероводородные воды отличаются несколько меньшей минерализацией. Они часто обогащены йодом и бромом.

3.3. Радоновые воды

Радиоактивные (радоновые) минеральные воды — природные или искусственно приготовленные воды, которые содержат радиоактивный химический элемент радон. Их относят к лечебным, если радиоактивность радона в них превышает 185 Бк/л.

Радиоактивны также подземные воды, содержащие более $1 \cdot 10^{-5}$ г/л урана и более $1 \cdot 10^{-11}$ г/л радия. Среди радиохимических типов вод выделяют: радоновые, радиевые, урановые, радоно-радиевые, радоно-урановые и радоно-радиево-урановые.

Образование радона. Радон — химический элемент нулевой группы периодической системы элементов. В обычных условиях — одноатомный газ, хорошо растворяющийся в воде. В природе встречаются три изотопа: радон ${}_{86}^{222}Rn$, торон ${}_{86}^{220}Tn$ и актинон ${}_{86}^{219}An$. Период полураспада основного изотопа 3,825 сут.

Радон образуется в процессе радиоактивного распада семейства урана — радия. Уменьшение количества радиоактивного вещества с течением времени происходит по показательному закону

$$N_t = N_0 e^{-\lambda t}, \quad (3.1)$$

где N_t — число атомов радиоактивного изотопа, оставшихся в наличии через время t после начала превращения; N_0 — начальное число атомов этого изотопа (в момент времени $t=0$); λ — постоянная распада; e — основание натурального логарифма.

После тщательного измерения α -излучения радия было установлено, что из 1 г радия за 1 с вылетает $3,68 \cdot 10^{10}$ α -частиц. Постоянная распада радия $\lambda_{Ra} = 1,38 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$. За 1 сут из всего количества радия превращением охватывается $1,2 \cdot 10^{-4}\%$ наличного числа атомов. При этом один атом радия порождает один атом радона, но наряду с образованием новых ядер радона происходит и превращение некоторой части радона в последующий изотоп RaA. Поэтому изменение количества радона происходит по сложному закону

$$N_{Rn} = \frac{\lambda_{Ra}}{\lambda_{Rn}} N_{Ra} (1 - e^{-\lambda_{Rn} t}), \quad (3.2)$$

где N_{Ra} и N_{Rn} — число атомов радия и радона в момент времени t .

Заменяя число атомов N количествами радона (в Бк/л), получим

$$q_{Rn} = Q_{Ra} (1 - e^{-\lambda_{Rn} t}), \quad (3.3)$$

где q_{Rn} — количество радона (в Бк/л), накопившееся за время t ; Q_{Ra} — количество радия в г; $(1 - e^{-\lambda_{Rn} t})$ — поправка на накопление радона за время t (сут, ч).

Номиналы концентрации радона в лечебной среде в единицах СИ (Бк/л) в соответствии с их значениями во внесистемных единицах (нКи/л, Эман) приведены ниже.

Бк/л	37	185	370	740	1500	3000	7400
нКи/л	1	5	10	20	40	80	200
Эман	10	50	100	200	400	800	2000

Радон при обычных условиях не вступает в химические реакции и подчиняется законам, установленным для газов.

Т а б л и ц а 3.13

Изменение коэффициента растворимости радона в зависимости от температуры воды

Температура воды, °С	a	Температура воды, °С	a	Температура воды, °С	a
0	0,510	30	0,200	70	0,118
5	0,420	40	0,160	80	0,112
10	0,350	50	0,140	90	0,109
20	0,225	60	0,127	100	0,107

Т а б л и ц а 3.14

Содержание радона в воде и газе некоторых источников минеральных вод (по В. В. Иванову, 1982 г.)

Источник	Температура воды, °С	Содержание радона, Бк/л		Коэффициент a	
		в воде	в газе	фактический	расчетный
Дарасун Нерчинский (Забайкалье)	0,2	847,3	1702,7	0,5	0,51
Аршан Тункинский (Забайкалье)	8,8	32,3	44,4	0,73	0,36
Вишневогорский (Урал)	8,0	552,4	1098,9	0,50	0,41
Кисловодский нарзан	13,6	63,3	94,3	0,67	0,31
Железноводск (Северный Кавказ)	38,5	178,0	1080,4	0,17	0,16
Новая Мацеста скв. 9, глубина 500 м	30,9	9,6	32,2	0,29	0,20
Копал-Арасан (Южный Казахстан)	30,0	126,5	743,0	0,16	0,20
Цхалтубо (Закавказье)	34,0	58,1	213,1	0,23	0,18
Белокуриха (Алтай)	34,0	370,0	1850,7	0,20	0,18
Джеты-Огуз (Киргизия)	43,3	4576,9	4384,5	0,11	0,15
Малкинский (Камчатка)	83,0	35,1	769,6	0,05	0,11

Повышение температуры подземной воды приводит к усиленной ее дегазации, в связи с чем коэффициент растворимости радона в воде уменьшается (табл. 3.13)

Радон выносится выделяющимися из воды газами. Чем интенсивнее газовыделение, тем больше теряется радона. Особенно это относится к углекислым термальным водам, содержащим радон (табл. 3.14).

Физико-химические условия перехода радиоактивных элементов из пород в водный раствор изучались И. Е. Стариком и Е. С. Щепотьевой. Переход радиоактивных элементов в воду из пород и минералов, связанный с их растворением, называется миграцией первого рода. Продукты распада

радия, радона и их изотопы находятся в капиллярах пород и минералов, частично в растворе, частично на стенках капилляров в сорбированном состоянии. Переход радиоактивных элементов из капилляров в воду, связанный с процессом выщелачивания, называется миграцией второго рода. При этом переход радия и его изотопов, а также некоторой части урана из пород в воду происходит в результате процесса выщелачивания. Сущность этого процесса состоит в переходе элемента из минерала в раствор без нарушения целостности кристаллической решетки.

Миграция изотопов эманаций определяется процессом эманирования. Радон, торон и актинон, образующиеся при распаде радия и его изотопов ThX и AcX, называются радиоактивными эманациями. Выделение эманаций в поры и трещины горных пород и руд называется эманированием. Интенсивность эманирования горных пород и минералов характеризуется коэффициентом эманирования и эманлирующей способностью. Под эманлирующей способностью пород и минералов понимается количество эманаций, выделяемое 1 г породы за время, достаточное для установления радиоактивного равновесия между эманацией и ее материнским элементом. Эманлирующая способность выражается в граммах радия, находящегося в равновесии с выделяющимся радонном. Эманлирующая способность пород прямо пропорциональна абсолютному содержанию радия в породе.

Эманирование пород зависит от плотности слагающих их минералов, структуры, сохранности кристаллической решетки, формы нахождения материнских радиоактивных элементов, температуры, влажности и т. п. Всякое разрушение кристаллической решетки минералов приводит к увеличению эманлирующей способности.

Отношение количества эманаций, выделившихся из единицы объема породы в единицу времени, ко всей эманации, которая образовалась за это же время в том же объеме горной породы, называется коэффициентом эманирования $K_{эм}$, который измеряется в процентах,

$$K_{эм} = \frac{Q_{\text{выд.}}}{Q_{\text{обр}}} \cdot 100. \quad (3.4)$$

Плотные горные породы имеют меньший коэффициент эманирования по сравнению с теми же породами, но более разрушенными. Влажные породы эманлируют больше, чем сухие. С повышением температуры эманирование увеличивается. Коэффициент эманирования отдельных образцов горных пород и руд колеблется от 0,01 до 100 %.

Средний $K_{эм}$ составляет, %: кислых магматических пород 10—25; гранитов в зонах разломов 25—30; гранитных пегматитов 28—54; песчаников 7,5; известняков 6,5; глин 3. Более высокие коэффициенты эманирования (до 100%) свойственны радиоактивным рудам и минералам. Повышенные $K_{эм}$ характерны для горных пород, обогащенных радием, адсорбированным из подземных вод («эманлирующие коллекторы»).

Условия обогащения вод радоном в зависимости от содержания радия в породах и коэффициента эманирования приведены в табл. 3.15.

Химический состав радоновых вод. Радоновые воды характеризуются разнообразным химическим составом. Однако среди них преобладают воды малой минерализации гидрокарбонатного, гидрокарбонатно-сульфатного и сульфатного состава. Условия и закономерности формирования хи-

Т а б л и ц а 3.15

Обогащение вод радоном в зависимости от содержания радия в реву, 1975 г., с изменениями)

Воды	Водовмещающие породы	Содержание Ra в породах, г/г
Связанные с нормальным содержанием радиоактивных элементов в породах	Осадочные	$1 \cdot 10^{-12}$
	Кора выветривания кислых магматических пород	$1,8 \cdot 10^{-12}$
	Тектонические зоны и зоны дробления	$1,8 \cdot 10^{-12}$
Связанные с повышенным рассеянным содержанием радиоактивных элементов в породах	Магматические, обогащенные аксессуориями	$n \cdot 10^{-11}$
	Осадочные и метаморфические, обогащенные рассеянными радиоактивными элементами	$n \cdot 10^{-11}$
Связанные с вторичными концентрациями радия в породах (эманлирующие коллекторы)	Эманлирующих коллекторов на безрудных участках (делювиальные, травертиновые, железомарганцевые, глинистые отложения)	$< 1 \cdot 10^{-9}$
Связанные с рудными концентрациями радиоактивных элементов	Радиоактивные руды	$n \cdot 10^{-7}$

мического состава подземных вод оказывают существенное влияние на миграцию радиоактивных элементов, особенно урана и радия.

По степени воздействия на растворение урановых минералов катионы расположены в следующем ряду $Mg^{2+} > Ca^{2+} > Na^+$. Более интенсивно проявляется влияние катионного состава вод на выщелачивание радия из пород и минералов. Чем ближе ионный радиус элемента к ионному радиусу радия, тем сильнее он вытесняет радий из минералов и пород. По силе воздействия на выщелачиваемость радия катионы расположены в ряд: $Ba^{2+} > Pb^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > K^+ > Na^+$. Следовательно, присутствие в водах бария в большей степени, чем присутствие кальция, способствует увеличению концентрации радия в водах. Однако наличие в подземных водах бария и сульфат-иона приводит к образованию нерастворимого осадка $BaSO_4$, который увлекает за собой

породах и коэффициентов эманирования горных пород (по А. Н. Тока-

Средний $K_{эм}$, %	Концентрации радона, Бк/л		Причина обогащения вод радоном
	фоновые	максималь- ные	
6	< 370	< 1330	Кларковое содержание радия в породах, эманирование пород
10	< 1330	< 2775	Кларковое содержание радия в породах, эманирование раздробленных пород
23,5	< 1330	< 2775	Кларковое содержание радия в породах, повышенное эманирование
28	—	< 1300	Повышенное содержание радия в породах и повышенное эманирование
30	—	< 1100	То же
50	—	< 1100	Повышенное эманирование пород с вторичными концентрациями радия
2,1—41	—	< 7 400 000	Высокое содержание радия, повышенное эманирование

Таблица 3.16

Главнейшие группы радоновых вод СССР по химическому составу

Типы вод по химическому составу	Типы вод по радиоактивности (концентрация радона, Бк/л)
---------------------------------	---

А. Радоновые воды

I. Кислородно-азотные, слабоминерализованные, различного (обычно сложного) состава, холодные

Липовский (740—1480)

Кисегачский (1480—7400)

Увильдинский (>7400)

Б. Радоновые воды

II. Азотные, кремнистые, слабоминерализованные, сложного анионного состава, натриевые, термальные щелочные

Белокурихинский (185—740)

III. Азотные, хлоридные кальциево-натриевые, среднеминерализованные, термальные

Джеты-Огузский (1480—7400)

IV. Углекислые, иногда кремнистые, различного ионного состава, разной минерализации и температуры

Молоковский (1480—7400)

Пятигорский (1480—7400)

V. Азотные, хлоридные натриевые, холодные воды и рассолы

Усть-Кутский (185—1480)



Рис. 3.1. Анионный состав радоновых вод основных месторождений СССР

(по В. В. Иванову, 1982 г.)

Общая минерализация, г/л	Специфические компоненты	T, °C (pH)	Характерные месторождения, источники
--------------------------	--------------------------	------------	--------------------------------------

простого состава

< 0,5	Иногда F	< 10 (6,5—7,5)	Липовка, Хапунвара, Кисегач, Увильды, Кольвань
< 0,5		< 10 (6,5—7,5)	
< 0,5		< 10 (6,5—7,5)	

сложного состава

< 0,5	H ₂ SiO ₃	35—60 (8,0)	Белокуриха, Былыра, Ак-Су
12—13	—	39—43 (7,4)	Джеты-Огуз
< 1,0	СО ₂ (иногда H ₂ SiO ₃)	< 2 (5,5—6,8)	Молоковка, Багырсах
2,0—6,0	СО ₂ (иногда H ₂ SiO ₃)	< 25 (5,5—6,8)	Пятигорск-1, Ямкун
< 150	Br (иногда H ₂ S)	< 10 (6,8—7,2)	Красноуольск, Усть-Кут

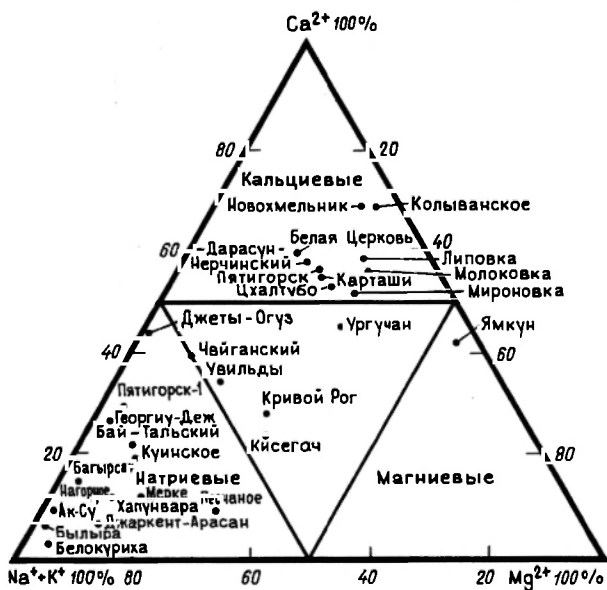


Рис. 3.2. Катионный состав радоновых вод основных месторождений СССР

Таблица 3.17

Средние содержания радиоактивных элементов в горных породах (по А. А. Смыслову, 1974 г.)

Породы	Среднее содержание радиоактивных элементов, $10^{-4}\%$	
	U	Th
Магматические:		
кислые	3,5	18,0
средние	1,8	6,0
основные	0,6	1,8
ультраосновные	0,03	0,08
Осадочные:		
песчаники	2,5	8,0
	<u>3,9</u>	<u>13,8</u>
глины	3,3	11,1
	<u>4,7</u>	<u>17,3</u>
известняки	1,7	1,8
	<u>1,8</u>	<u>2,3</u>

Примечание. Дроби: в числителе — платформенные области; в знаменателе — краевые прогибы.

и большую часть радия. Поэтому большинство радиевых и радоно-радиевых вод бессульфатные.

Наименьшее влияние на растворимость урановых минералов и переход в раствор урана оказывают хлориды, а наибольшее — гидрокарбонаты. Сульфат-ион способствует переводу урана в раствор, особенно при низких значениях реакции водной среды рН.

На обогащение вод радоном химический состав их заметного влияния не оказывает. Таким образом, повышенные и высокие концентрации радона встречаются в водах различного состава (табл. 3.16, рис. 3.1, 3.2).

Условия формирования и распространения радоновых вод. Степень обогащения подземных вод радоном зависит от многих факторов, среди которых основным является масштаб и форма содержания урано-радиевой минерализации в породах. Средние содержания радиоактивных элементов в горных породах приведены в табл. 3.17.

А. Н. Токарев выделяет четыре типа радиоактивных вод, которые формируются в породах с различным содержанием радиоактивных элементов: 1) с нормальным содержанием; 2) с повышенным рассеянным содержанием; 3) с вторичными концентрациями радия (эманлирующие коллекторы); 4) с рудными концентрациями радиоактивных элементов (табл. 3.18).

Радоновые воды представляют собой довольно распространенный тип радиоактивных вод. Среди них выделяют подтип радоновых вод коры выветривания кислых магматических пород и подтип радоновых вод тектонических трещин и зон дробления в кислых магматических породах. В коре выветривания кислых магматических пород, за счет кларковых содержаний радия и эманирования пород на наиболее разрушенных участках, формируются очень слаборадоновые воды с концентрациями радона до 300 Бк/л. Низкие концентрации радона в водах первого подтипа определяют их слабую перспективность для использования в бальнеологических целях.

Большой интерес представляют радоновые воды, формирующиеся в тектонических трещинах и зонах дробления кислых магматических пород. Они формируются в условиях более высокого эманирования пород в зонах разломов и повышенного содержания радия в кислых магматических породах (табл. 3.19).

Циркулируя по трещинам в кислых магматических породах, обогащенных радиоактивной минерализацией, подземные воды насыщаются радоном, радием и ураном. Отдельные источники радоновых вод областей новейшего вулканизма содержат углекислоту, бор, фтор, мышьяк и другие микроэлементы. В зонах глубокой циркуляции развиты термальные радоновые воды, обогащенные кремнекислотой и микроэлементами.

Концентрация радона в трещинно-жильных водах массивов кислых магматических пород с кларковыми содержаниями радия не превышает 370 Бк/л. На участках разломов, обогащенных радиоактивными элементами, формируются радоновые средней концентрации ($R_n = 1480 - 7400$ Бк/л) и высокорадонные воды ($R_n > 7400$ Бк/л).

При обогащении подземных вод радоном большую роль играют геолого-структурные, литолого-фациальные и гидрогеологические условия. На участках приподнятых геологических структур (щиты, массивы, антиклинальные структуры) условия формирования радоновых вод более благоприятные, чем в пределах впадин, прогибов и синклинальных структур.

Наибольшее число месторождений радоновых вод известно в районах, где докембрийский или палеозойский фундамент выведен на дневную поверхность: Балтийский, Украинский, Алданский щиты; древние горно-складчатые сооружения и кристаллические массивы Урала, Казахстана, Тянь-Шаня, Забайкалья и др.

Таблица 3.18

Классификация природных радоновых вод и условия их формиро

Группа вод	Радиохимический тип вод	Гидрогеологический тип вод
Связанных с нормальным содержанием радиоактивных элементов в породах	Радоновые	Трещинные воды коры выветривания кислых магматических пород
Связанных с рассеянным содержанием радиоактивных элементов в породах	Радоно-урановые	Трещинные и трещинно-жильные воды зон тектонических нарушений Трещинные и пластово-трещинные воды
Связанных с вторичными концентрациями радия в породах (эманлирующие коллекторы)	Радоновые, радоно-урановые Радоновые, радоно-радиевые	Трещинно-грунтовые и трещинно-жильные воды Трещинные и поровые воды
Связанных с рудными концентрациями радиоактивных элементов в породах	Радоно-урано-радиевые Радоно-радиевые Радоно-урано-радиевые Радоно-радиевые	Трещинные и трещинно-жильные воды Трещинные, трещинно-жильные, пластово-трещинные, пластово-поровые воды

вания (по А. Н. Токареву, 1975 г., с изменениями)

Причина обогащения вод радиоактивными элементами	Химический состав вод		Содержание радиоактивных элементов		
	Минерализация, г/л	Тип воды	Rn, Бк/л	Ra, г/л	U, г/л
Эманирование пород, повышенное кларковое содержание радия в породах	< 1	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{Ca-Mg-Na}}$	< 300	$< 2 \times 10^{-12}$	$< 1 \times 10^{-6}$
То же	< 1	$\frac{\text{HCO}_3-\text{SO}_4}{\text{Ca-Na}}$	< 400	$< 2 \times 10^{-12}$	$< 5 \times 10^{-5}$
Осадочные и метаморфические породы, обогащенные рассеянными радиоактивными элементами	Различные по степени минерализации и химическому составу		< 1100	$< 1 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-4}$
Радиоактивные акцессории	< 1	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{Ca-Mg}}$	< 1100	1×10^{-12}	$< 1 \times 10^{-4}$
Повышенное эманирование пород с вторичными концентрациями радия	Различные по степени минерализации и химическому составу		< 1100	$< 1 \times 10^{-10}$	$< 5 \times 10^{-6}$
Эндогенное оруденение	То же		< 1 500 000	$< 5 \times 10^{-10}$	$< 1 \times 10^{-1}$
			< 37 000	$< 1 \times 10^{-9}$	$< 1 \times 10^{-4}$
Экзогенное оруденение			< 37 000	$< 1 \times 10^{-9}$	$< 1 \times 10^{-1}$
			< 11 100	$< 1 \times 10^{-8}$	$< 1 \times 10^{-5}$

Таблица 3.19

Характеристика месторождений радоновых вод в зонах тектонических трещин кристаллических пород (по Н. М. Елмановой, В. А. Арбузову, 1981 г., с изменениями)

Месторождение, номер скважины и ее глубина, м	Дебит, л/с	Минерализация, г/л	Ионный состав вод	Микрокомпоненты (содержание, г/л)	T, °C	pH Еh, мВ	Содержание радона, Бк/л	Содержание урана, 10^{-12} , г/л
Молоковка, скв. 26, 100	3,5	0,8	$\text{HCO}_3,85 \text{ SO}_4,14$ $\text{Ca}58 \text{ Mg}30$	$\text{CO}_2 (1,3)$	2	$\frac{5,9}{19,8}$	3360	56
Мерке, скв. 4, 310	2,4	0,3	$(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)41 \text{ SO}_4,23$ $\text{Na}73 \text{ Mg}15$	—	23	$\frac{8,8}{8,5}$	5910	14
Увильды, скв. 44, 165	9,0	0,6	$\text{HCO}_3,56 \text{ Ca}32$ $(\text{Na} + \text{K})46 \text{ Ca}76$	—	6	$\frac{6,9}{—}$	17 400	530
Кисегач, скв. 41, 121	2,2	0,5	$\text{HCO}_3,68 \text{ Cl}24$ $(\text{Na} + \text{K})40 \text{ Mg}31$	—	6	$\frac{6,8}{—}$	2330	28
Липовка, скв. 3, 100	5,0	0,2	$\text{HClO}_2,93 \text{ Cl}5$ $\text{Ca}59 \text{ Mg}29$	—	5	$\frac{6,5}{—}$	656	2,2
Белокуриха, скв. 30/60, 525	16,4	0,3	$\text{SO}_4,34 (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)26 \text{ F}23$ $(\text{Na} + \text{K})95 \text{ Ca}3$	H_2SiO_3 (0,050)	34	$\frac{9,2}{42-88}$	185	2
Былыра, скв. 2, 114	4,0	0,4	$(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)64 \text{ SO}22$ $(\text{Na} + \text{K})92 \text{ Ca}6$	H_2SiO_3 (0,110)	43	$\frac{9,4}{—}$	259	1,5
Котал-Арасан, скв. 4, 82	1,3	0,6	$\text{SO}_4,46 \text{ Cl}36$ $\text{Na}91 \text{ Ca}7$	H_2SiO_3 (0,06)	43	$\frac{8,5}{170}$	222	2

Содержания радия и урана в горных породах различные. Повышенные кларковые содержания радия и урана среди магматических пород характерны для гранитов и пегматитов. В пегматитах накопление урана происходит в виде урансодержащих минералов. В метаморфических породах уран в значительной степени связан с составом и геохимическими особенностями исходных пород. Метаморфизованные вулканогенные породы, как правило, содержат $n \cdot 10^{-4}\%$ урана. Метаморфизованные терригенные породы характеризуются значительными колебаниями содержания урана $(1-6) \times 10^{-4}\%$. В осадочных отложениях наибольшие количества радия и урана установлены в морских фосфоритах и углеродсодержащих морских черных сланцах. Накопление повышенных содержаний радиоактивных элементов отмечается и в других осадочных отложениях, обогащенных органикой: песчаниках, сланцах, алевролитах, конгломератах [23]. Одним из важнейших носителей урана и радия в углях, торфяниках, черных сланцах и отчасти фосфоритах является органическое вещество гумусового ряда.

Гидрогеологические условия играют существенную роль в обогащении вод радоном. Время соприкосновения воды с породой зависит от скорости движения подземных вод и масштабов урановой минерализации.

Процесс накопления радона и радия происходит таким образом, что за 3,825 сут накапливается половина максимального его количества, а за 30 сут устанавливается радиоактивное равновесие с радием. Следовательно, этот период соприкосновения подземных вод с радиоактивными породами оптимален для максимального обогащения вод радоном.

Скорость движения подземных вод изменяется в широких пределах (от тысячных долей метра в сутки до сотен и даже тысяч метров в сутки). При больших скоростях движения воды и малых поверхностях ее соприкосновения с радиоактивной породой концентрации радона в воде относительно низкие.

Условия обогащения вод радоном отражены в формуле

$$R_n = \frac{K a n \rho}{w} \left(1 - e^{-\lambda \frac{s}{v}} \right), \quad (3.5)$$

где R_n — концентрация радона в воде, $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк/см³; a — содержание радия в породе, г/г; K — коэффициент эманулирующей способности породы, %; n — пористость породы, %; ρ — плотность породы, г/см³; w — влагоемкость, %; λ — константа распада радона; s — путь, проходимый водой, м; v — скорость фильтрации, м/сут.

В природе наблюдаются значительные колебания содержания радона в воде в зависимости от дебита водопунктов. В одних случаях с увеличением дебита концентрация радона увеличивается, в других — уменьшается, а в третьих — остается стабильной.

В. И. Баранов и А. М. Овчинников отмечают следующие особенности обогащения подземных вод радоном, связанные с изменением скорости фильтрации воды: 1) радиоактивность воды не зависит от скорости ее фильтрации, если вода омывает радиоактивные породы на длительном пути фильтрации; 2) радиоактивность воды уменьшается с увеличением скорости ее фильтрации, если вода омывает радиоактивные породы на небольшом пути фильтрации; 3) радиоактивность воды увеличивается с увеличением скорости ее фильтрации, если вода вытекает из мощного слоя радиоактивной породы, прикрытого нерадиоактивным слоем. Таким образом, обогащение подземных вод радоном зависит как от скорости движения подземных вод, так и от размеров источников обогащения их радиоактивными элементами.

Концентрация радона уменьшается с увеличением дебита в том случае, если движение воды по активной породе длится менее 30 сут. Концентрация радона не изменяется с изменением дебита в том случае, если активная порода имеет большие размеры, обеспечивающие достаточное время соприкосновения воды с активной породой. Резкое увеличение концентраций радона с ростом дебита водопункта указывает на близкое положение пород, обогащенных радиоактивными элементами.

В. В. Иванов и Г. А. Невраев разработали классификацию, по которой радоновые лечебные воды разделяются по концентрации радона, Бк/л: 1) с малой концентрацией радона — слаборадоновые, от 185 до 1480 (5—40 нКи/л); 2) со средней концентрацией радона (среднерадоновые), от 1480 до 7400 (40—200 нКи/л); 3) с высокой концентрацией радона (высокорадоновые), >7400 (более 200 нКи/л).

В настоящее время среди радоновых вод выделяют: 1) очень слаборадоновые (концентрация радона от 185 до 740 Бк/л) (5—20 нКи/л); 2) слаборадоновые (от 740 до 1480 Бк/л) (20—40 нКи/л); 3) радоновые средней концентрации (от 1480 до 7400 Бк/л) (40—200 нКи/л); 4) высокорадоновые (>7400 Бк/л) (более 200 нКи/л).

Радоновые лечебные воды имеют широкое распространение на территории СССР. На карте подземных минеральных вод СССР, составленной В. В. Ивановым, А. М. Овчинниковым, Л. А. Яроцким в 1960 г., впервые выделялась провинция

холодных кислородно-азотных (и азотных), радоновых, слабоминерализованных вод коры выветривания кислых кристаллических пород.

На карте минеральных лечебных вод СССР масштаба 1 : 4 000 000 (главный редактор В. В. Иванов, 1968 г.) также выделена провинция радоновых, кислородно-азотных вод массивов кислых кристаллических пород. При поисках и разведке месторождений радиоактивного сырья было установлено, что радоновые воды приурочены не только к кислым и щелочным магматическим, но и к эффузивным, метаморфическим и осадочным породам. На локальных участках развития кварц-полевошпатовых метасоматитов и альбититов, обогащенных радиоактивными элементами, формируются радоновые воды с концентрациями радона до 7400 Бк/л и более. В метаморфизованных конгломератах и альбитизированных железистых кварцитах встречаются слаборадоновые, радоновые средней концентрации и высокорадоновые воды. В коре выветривания кислых кристаллических пород высокие концентрации радиоактивных элементов довольно редки, поэтому в ее пределах формируются слаборадоновые воды, не имеющие большого практического значения. В осадочных отложениях радиоактивные элементы накапливаются в основном за счет сорбции и процессов восстановления. Наиболее обогащены радиоактивными элементами терригенные угленосные осадки, торфяники, фосфориты и битуминозные карбонатные породы. Однако содержание радона в водоносных горизонтах терригенных угленосных осадков, торфяников и битуминозных пород редко превышает 1480 Бк/л.

В лечебных целях для ванн обычно используются воды с содержанием радона 1480—3000 Бк/л [18], которые в природе встречаются довольно редко. Среди радоновых вод наибольшую ценность имеют воды, обогащенные углекислотой, кремнекислотой, другими биологически активными компонентами. Основные разновидности радоновых лечебных вод приведены в табл. 3.20.

Наибольшее количество месторождений радоновых вод известно в следующих регионах страны: Украина, Карелия, Урал, Казахстан, Тянь-Шань, Северо-Туранская область, Колывань, Тува, Забайкалье. Характеристика основных месторождений радоновых вод СССР приведена в табл. 3.21.

Широко известны в стране радоновые воды месторождений: Пятигорск 1 (табл. 3.22), Пятигорск 2, Хмельник, Новохмельник, Цхалтубо, Увильды, Белокуруха, Джеты-Огуз, Молоковка и др., которые с успехом используются для лечебных целей.

Т а б л и ц а 3.20

Основные разновидности радоновых лечебных вод (по Н. М. Елма-

Разновидности вод	T, °C	pH	Eh, мВ	M, г/л
-------------------	-------	----	--------	--------

В породах с повышенными

Кислородно-азотные воды кислых кристаллических пород	7—12	6,5—7,5	150—200	0,2—1,0
	6	6,9	—	0,6
Углекислые воды кислых кристаллических пород	1	6,0	130	1,0
	2	5,9	30—50	1,0
Кремнистые термы кислых кристаллических пород	34—43	8,5—9,4	42—170	0,3—0,6
	20—23	8,8	—	0,3
Азотные воды осадочных отложений	41—42	7,7	40	1,5
	—	—	—	30

В породах с повышенными

Углекислые воды кислых кристаллических пород	20	6,0—6,5	110	—
Углекислые воды терригенных пород и травертинов	24	6,5—7,0	120	5
Азотные воды осадочных пород	41	7,2	160	11,5
Азотные и азотно-метановые воды наносов	10	7,8	200	150

3.4. Йодобромные воды

Йодными и бромными (или йодобромными) считаются такие воды, которые содержат не менее 5 мг/л йода и не менее 25 мг/л брома при их минерализации (для хлоридных вод) до 10—15 г/л. При более высокой минерализации воды считаются бромными и йодными в том случае, если при их разбавлении пресной водой до минерализации 10—15 г/л содержание йода и брома не будет ниже указанных норм. Используются они в бальнеологии для внутреннего и наружного применения.

Йод и бром представляют собой анионогенные элементы и относятся к группе галогенов. Йод характеризуется ярко

новой, В. А. Арбузову, 1981 г., с изменениями)

Ионный состав	Содержание радиоактивных элементов			Месторождения
	Rn, Бк/л	Ra, г/л	U, г/л	

концентрация радиактивных элементов

HCO ₃ —SO ₄ —Cl; Ca—Mg—Na	370— 2040	1,0·10 ⁻¹² — 5,4·10 ⁻¹¹	1,0·10 ⁻⁶ — 8,1·10 ⁻⁵	Белая Церковь, Александрия, Мирановка, Липовка Увильды
HCO ₃ —Cl—Na— Ca	17 400	5,3·10 ⁻¹⁰	3,6·10 ⁻⁵	Ургучан Молюковка Копал-Арасан, Белокуриха, Балыра Мерке Нагорное Майли-Су
HCO ₃ —Ca—Mg	670	5,2·10 ⁻¹²	1,6·10 ⁻⁷	
HCO ₃ —Ca—Mg	3 360	5,6·10 ⁻¹¹	1,1·10 ⁻⁵	
SO ₄ —HCO ₃ —Na	185—	2,0·10 ⁻¹²	5,6·10 ⁻⁶	
HCO ₃ —SO ₄ —Na	481			
HCO ₃ —SO ₄ —Na	6 700	3,0·10 ⁻¹¹	1,9·10 ⁻⁵	
SO ₄ —Cl—Na—Ca	1 110	2,7·10 ⁻¹⁰	1,5·10 ⁻⁵	
Cl—Na—Ca	13 300	—	—	

концентрация радия (в эманулирующих коллекторах)

HCO ₃ —Cl—Na— Ca	7 000	2,0·10 ⁻¹⁰	7,2·10 ⁻⁶	Багырсах
Cl—HCO ₃ —SO ₄ Na—Ca—Mg	—	1,4·10 ⁻¹¹	9,0·10 ⁻⁶	Пятигорск, Ямкун
Cl—Na—Ca	4 070	5,9·10 ⁻¹¹	9,0·10 ⁻⁶	Джеты-Огуз
Cl—Na—Ca	1 480	2,6·10 ⁻¹⁰	3,4·10 ⁻⁶	Усть-Кут, Красноуольск

выраженными биофильными свойствами и является типичным элементом рассеяния, т. е. имеет повсеместное распространение, но с очень низким кларком ($4 \cdot 10^{-5}$). Растворимость йода в воде составляет 0,3 г/л. С повышением температуры растворимость его возрастает и при 100 °С достигает 3,3 г/л. В природе йод встречается главным образом в составе солей Na, K, Mg.

Образование йода и брома. Главные концентраторы йода — многие морские растения и организмы. В составе растений преобладают его минеральные формы, в большей части в виде йодидов и в меньшей — в виде йодатов.

В составе вещества морских организмов йод находится в виде органических комплексных соединений. Высокие

Таблица 321

Краткая характеристика основных месторождений разлочных вод СССР (по Н. М. Елмановой, В. А. Арбузову, 1975 г., с изменениями)

Месторождение	Содержание Rn, Бк/л	Общая минерализация, г/л	Формула химического состава	Специфические компоненты (содержание, г/л)	pH	Температура, °C
<i>Чилинская область</i>						
Молоковка	3360	0,8	$\frac{\text{HCO}_3 85 \text{ SO}_4 12}{\text{Ca} 58 \text{ Mg} 30}$	CO ₂ (2,2)	5,9	2,7
Дарасун-Нерчинский	962	—	—	CO ₂ (1,5—2,0)	—	2,0
Былыра	259	0,3	$\frac{\text{HCO}_3 62 \text{ SO}_4 27}{(\text{Na} + \text{K}) 81 \text{ Ca} 18}$	H ₂ SiO ₃ (0,065—0,192)	9,4	43,0
<i>Новосибирская область</i>						
Колыванское	2700—12 950	0,7	$\frac{\text{HCO}_3 66 \text{ Cl} 29}{\text{Ca} 69 \text{ Mg} 27}$	—	7,1	7,0
Белокуриха	185—481	0,3	$\frac{\text{SO}_4 42 (\text{HCO}_3 + \text{CO}_3) 31}{(\text{Na} + \text{K}) 93}$	H ₂ SiO ₃ (0,050)	9,0	41,0
<i>Челябинская область</i>						
Увильды	9660—17 400	0,6	$\frac{\text{HCO}_3 56 \text{ Cl} 32}{\text{Na} 46 \text{ Ca} 36}$	—	7,0	8,0
Кисегач	2368	0,5	$\frac{\text{HCO}_3 68 \text{ Cl} 24}{(\text{Na} + \text{K}) 45 \text{ Mg} 31 \text{ Ca} 24}$	—	6,1	5,5

Ставропольский край

Пятигорск 2	8732	0,74	$\frac{\text{HCO}_3\text{57SO}_4\text{30}}{\text{Ca58 Na21}}$	—	7,0	18,0
Пятигорск 1	259—12 210	3,4	$\frac{\text{Cl142 HCO}_3\text{30 SO}_4\text{27}}{(\text{Na} + \text{K}) 67 \text{ Ca25}}$	—	6,9	19,7
<i>Карелия</i>						
Халунвара	1813—3024	0,2	$\frac{\text{HCO}_3\text{60 Cl122}}{\text{Na81 Ca11}}$	—	6,4	4,0
Карташи	1184	0,3	$\frac{\text{HCO}_3\text{81 SO}_4\text{12}}{\text{Ca52 Mg27 Na20}}$	—	6,4	4,0
Песчаное	1258	0,6	$\frac{\text{HCO}_3\text{72 Cl120}}{\text{Na61 Mg34}}$	—	7,7	10,0
<i>Азербайджан</i>						
Багырсах	3811—7770	6,4	$\frac{\text{HCO}_3\text{53 Cl133}}{\text{Na82 Ca14}}$	CO ₂ (1,6)	6,4	18,0
<i>Украина</i>						
Новохмельник	666—2789	0,7	$\frac{\text{HCO}_3\text{96}}{\text{Ca59 Mg25}}$	—	7,0	9,6
Белая Церковь	111—1110	0,6	$\frac{\text{HCO}_3\text{86 Cl17}}{\text{Ca61}(\text{Na} + \text{K})\text{22}}$	—	7,5	9,3

Месторождение	Содержание Кп, Бк/л	Общая минерализация, г/л	Формула химического состава	Специфические компоненты (содержание, г/л)	pH	Темпе- ратура, °C
Мироновка	703—1480	2,5	$\frac{\text{HCO}_3\text{I Cl7}}{\text{Ca52 Mg38}} \frac{\text{Cl51 SO}_4\text{40}}{\text{Na43 Mg29}}$	—	7,2	11,0
Кривой Рог	1480	1,7	<i>Киргизия</i>	—	6,8	8,0
Джегы-Огуз	555—4070	12	$\frac{\text{Cl94 SO}_4\text{6}}{(\text{Na} + \text{K}) 5} \frac{\text{Ca48}}{\text{SO}_4\text{34 Cl32 F16}}$	—	7,2	38,7
Ак-Су	296—444	0,4	$\frac{(\text{Na} + \text{K}) 89 \text{ Ca9}}{\text{H}_2\text{SiO}_3}$	H ₂ SiO ₃ (0,054)	9,2	58,0
Мерке	6700	0,6	<i>Казахстан</i> $\frac{\text{HCO}_3\text{41 SO}_4\text{23 F19}}{\text{Na73 Mg16}}$	—	8,8	23,0
Джаркент-Арасан	666	1,1	$\frac{\text{SO}_4\text{52 Cl27}}{\text{Na83 Ca11}}$	H ₂ SiO ₃ (0,050)	8,5	37,0
Нагорное	1110	1,4	<i>Узбекистан</i> $\frac{\text{SO}_4\text{58 Cl26}}{\text{Na78 Ca11}}$	—	7,7	41,0

Т а б л и ц а 3 22
Характеристика Пятигорских радоновых источников (по М. С. Каган, 1963 г.)

Водоупункты	Максимальное значение содержания			Температура, °С	Максимальный дебит, м ³ /сут	Химический состав воды (формула Курлова)
	Rn, Бк/л	Ra, 10 ⁻¹² г/л	U, 10 ⁻⁷ г/л			
Теплосерные:						
ист. 1	1 110	6,8	33	22	290	$M_{2,6} \frac{C138HCO_3 32SO_4 29}{(Na + K) 60 Ca 32}$
ист. 2	1 060	5,1	—	22	17	
ист. 3	690	4,3	32	22	180	
Радиощтупля № 2:						
скв. 688	2 760	6,2	27	22	6	$M_{3,7} \frac{C141HCO_3 30SO_4 27}{(Na + K) 64 Ca 29}$
скв. 75	2 580	4,7	21	22	7	
скв. 102	13 200	5,4	10	24	1	
скв. 104	13 300	3,4	10	24	6	
скв. 106	11 600	13,6	14	23	3	
Академические:						
скв. 2	1 590	6,2	0,8	22	4	$M_{4,6} \frac{C139HCO_3 32SO_4 28}{(Na + K) 64 Ca 29}$
скв. 4	2 290	3,9	1,2	24	18	
скв. 6	2 510	3,2	1,6	22	3	
скв. 8	1 255	1,0	1,2	22	4	
скв. 10	1 850	3,7	1,6	23	2	
Сборный водозод	2 040	7,1	13,0	23	180	

содержания йода наблюдаются в подземных водах нефтегазоносных бассейнов. При этом основной его источник в подземных водах — не нефтяные залежи, а органические вещества водовмещающих пород [13]. В распространении и содержании йода в подземных водах проявляется определенная зависимость от возраста водовмещающих пород. Так, в бассейнах областей мезозой-кайнозойской складчатости среднее содержание йода в подземных водах составляет 36,34 мг/л, в водах бассейнов палеозойской складчатости — 12,45 мг/л.

С увеличением возраста гидрогеологических бассейнов и водовмещающих пород содержание йода в водах уменьшается. На распределение и повышение содержания йода в подземных водах оказывают влияние большие мощности осадочных образований.

Формирование иодсодержащих подземных вод происходит по следующей схеме: в сингенетическую стадию иод из морской воды концентрируется растительными и живыми организмами и сорбцией глинистыми частицами ила; в диагенетическую стадию в системе йодные воды — породы происходит дифференциация элементов и в заключительную эпигенетическую стадию осуществляется переход йода из пород в подземные воды. Взаимодействие пород с подземными водами происходит с участием органического вещества, которое регулирует величины содержания и формы миграции йода в подземных водах. При этом переходе йода в подземные воды способствуют щелочная среда, восстановительные условия и повышенные (до 150 °С) температуры [12].

Бром характеризуется высокой растворимостью в воде. Основное его количество накапливается в морских и океанических водах. Наиболее высокое содержание брома (0,1—8,5 г/л) наблюдается в зоне соленых озер. В процессе галогенеза бром выделяется в виде изоморфной примеси с солями калия и магния. Концентрация брома в подземных водах часто зависит от минерализации — концентрации хлоридов натрия и двухвалентных металлов. Большинство исследователей считают, что накопление брома происходит в процессе галогенеза, т. е. испарительного концентрирования солей, а обогащение подземных вод бромом — в основном за счет растворения галогенных толщ и разбавления погребенных маточных рассолов.

Высокие совместные содержания йода и брома установлены в подземных водах молодых нефтегазоносных структур. В отличие от брома наиболее высокие концентрации йода

наблюдаются, как правило, в водах гидрогеологических бассейнов, в которых отсутствовали процессы галогенеза.

Химический состав йодобромных вод. Собственно йодные воды являются хлоридно-гидрокарбонатными, гидрокарбонатно-хлоридными натриевыми (табл. 3.23). По степени минерализации они могут быть от слабо- до сильноминерализованных (Бакинский, Семигорьевский, Азовский № 2, Прибалтийский, Копетдагский, Хадыженский, Подхребетовский, Чобандагский, Лапоминский, Уренгойский и другие типы вод).

Собственно бромные воды имеют сульфатно-хлоридный натриево-кальциевый, хлоридный натриевый и хлоридный кальциево-натриевый состав. Минерализация их изменяется от 5 г/л до крепких рассолов (Бирюсинский, Талицкий, Нижне-Сергиевский, Тюменский, Белгородский, Лугельский, Луганский и другие типы вод).

Йодобромные воды имеют гидрокарбонатно-хлоридный натриевый и хлоридный кальциево-натриевый состав с минерализацией от 1—10 г/л до крепких рассолов (Брюховецкий, Тюменский, Кыртымский, Майли-Суйский, Ново-Васюганский, Георгиевский и другие типы вод).

Группа сероводородно-йодных, сероводородно-бромных и сероводородно-йодобромных вод характеризуется хлоридно-сульфатным, сульфатно-хлоридным натриевым, хлоридным натриевым и кальциевым составом с минерализацией от 5 г/л до крепких рассолов (Западно-Копетдагский, Балханский, Исфаринский, Молдавский-Узгены, Балыхтинский, Куйлярский типы вод и др.).

Встречаются борно-йодобромные, борно-йодные и борно-бромные в основном сильноминерализованные воды и рассолы хлоридного натриевого состава (Котуртенинский, Западно-Туркменский грязевые вулканы и другие типы вод).

Условия формирования и распространения йодобромных вод. В пределах молодых горно-складчатых структур развиты сильноминерализованные углекисло-кремнисто-мышьяковисто-йодные, йодобромные и бромные воды (Разданский, Двинский, Джульфинский и другие типы вод).

Йодные воды, не содержащие других биологически активных компонентов кроме йода, имеют на территории СССР ограниченное распространение. Они выявлены в Усть-Двинской впадине в четвертичных бореальных отложениях, богатых морскими водорослями, содержащими йод (скв. Часовенская 12) и вдоль берегов Белого моря (с. Лапоминка, д. Куя). Воды хлоридные натриевые с минерализацией до 14 г/л и содержанием йода до 26 мг/л.

Т а б л и ц а 3 23
Йодобромные воды

Группа вод	Типы вод	Физико-химическая характеристика вод			
		Ионно-солевой состав	Компоненты и их содержание, мг/л	Минерализация вод, г/л	Температура, °С

1. Монокомпонентные

1. Йодные	Бакинский, Семигорьевский	Cl—HCO ₃ —Na	I > 5	1—5	< 20
	Азовский № 2 Прибалтийский (г. Калверия), Констадагский (Ид-жири, Ашхабад, Тарсакан), Ходыженский (сб. 503)	HCO ₃ —Cl—Na Cl—Na	I > 5 I > 5	5—10 > 10	20—37 20—37
2. Бромные	Бирюсинский Талццкий, Нижне-Сергинский, Тюменский, Белогорский	SO ₄ —Cl—Na—Ca Cl—Na, Cl—Ca—Na	Br > 25	5—10 5—10	< 20, 20—37; 37—42; > 42

II. Бикомпонентные

3. Серозолородчодные	Западно-Копетдагский	Cl—SO ₁ —Na; Cl—Na	H ₂ S (HS ⁻) > 10; I > 5	5—10	< 20; 20—37
4. Серозолородно-бромные	Балканский, Исфаринский	Cl—SO ₁ —Na; Cl—Na	H ₂ S (HS ⁻) > 10; Br > 25	5—10	20—37
5. Гидобромные	Брюховецкий (Красдарский), Тюменский, Картмский (Свердловская обл.)	HCO ₁ —Cl—Na; Cl—Na	I > 5; Br > 25	1—5	< 20; 20—37; 37—42
6. Йодобромные	Копетдагский (Башкари, Синджу)	HCO ₁ —Cl—Na; Cl—Na	I > 5; H ₃ BO ₃ > 50	1—5	20—37; 37—42
7. Йодные хлоридные	Подурбетовский (Увайсе), Чобандагский (Азрдаи-джан), Лапоминский, Шабмударский (Краснодарский), Уренгойский	HCO ₃ —Cl—Na; Cl—Na	I > 5; NaCl	> 10	< 20; 20—37; 37—42; > 42
8. Бромные хлоридные натриевые	Лугельский, Луганский	Cl—Na	Br > 25; NaCl	> 10	< 20; 30—37; 37—42; > 42

III. Поликомпонентные

9. Мышьяковистые хлоридные натриевые	Синегорский	Cl—Na	As > 0,7; I > 5; NaCl	> 10	—
--------------------------------------	-------------	-------	-----------------------	------	---

Продолжение табл. 3.23

Группа вод	Типы вод	Физико-химическая характеристика вод			
		Ионно-солевой состав	Компоненты и их содержание, мг/л	Минерализация вод, г/л	Температура, °C
10. Углекисло-кремнисто-йодные хлоридные натриевые	Разданский	Cl—Na	CO ₂ > 500; SiO ₂ > 50; I > 5; NaCl	> 10	20—37
11. Углекисло-кремнисто-борио-мышьяковистое-висмутное хлоридные натриевые	Двинский (скв. 24)	HCO ₃ —Cl—Na	CO ₂ > 500; SiO ₂ > 50; H ₃ BO ₃ > 50; As > 0,7; I > 5; NaCl	> 10	< 20, 20—37
12. Углекисло-борно-мышьяковистое-йодобромные хлоридные натриевые	Джурльфинский	HCO ₃ —Cl—Na	CO ₂ > 500; H ₂ O > 50; Br > 25; I > 5; As > 0,7; NaCl	> 10	20—37
13. Сероводородно-йодные хлоридные натриевые	Молдавский (вдоль скв. 13), Калмыцкий (Комсомольский, скв. 96 ^а)	SO ₄ —Cl—Na; Cl—Na	H ₂ S (HS ⁻) > 10; I > 5; NaCl	> 10	< 20; 20—37
14. Сероводородно-бромные хлоридные натриевые	Саратовский (Соколовая гора, скв. 1), Елыктинский (Иркутский, скв. 5)	Cl—Na; Cl—Ca	H ₂ S (HS ⁻) > 10; Br > 25; NaCl	> 10	< 20; 20—37

15. Сероводородно-йодобромные хлоридные натриевые	Куйлярский (Туркменский, ист. 9)	Cl—Na	$H_2S (HS^-) > 10; I > 5; Br > 25; NaCl$	> 10	20—37
16. Сероводородно-борные йодные хлоридные натриевые	Источник Южный (Западный Туркменская низменность)	Cl—Na	$H_2S (HS^-) > 10; H_3BO_3 > 50; I > 5; NaCl$	> 10	20—37
17. Сероводородно-борно-йодный	Хангинский (Коретдаг, ист. 49)	$HCO_3—Cl—Na$	$H_2S (HS^-) > 10; H_3BO_3 > 50; I > 5$	1—5	$< 20; 20—37$
18. Сероводородно-борно-борные хлоридные натриевые	Источник Северный (грядой вулкан в Западной Туркмении)	Cl—Na	$H_2S (HS^-) > 10; H_3BO_3 > 50; Br > 25; NaCl$	> 10	< 20
19. Йодобромные хлоридные натриевые	Майли-Суйский (Каргызия), Новый Вазюганский (Тамский), Тобседа (Нелкий), Ходженский (схв. 730), Георгиевский (схв. 1), Гетротаваковский (схв. Г-12)	Cl—Ca—Na; Cl—Na	$I > 5; Br > 25; NaCl$	> 10	$< 20; 30—37; 37—42; > 42$
20. Кремнисто-йодобромные	Уджарминский (Грузия)	$HCO_3—Cl—Na$	$I > 5; Br > 25; SiO_2 > 50$	< 10	> 42

Продолжение табл. 3.23

Группа вод	Типы вод	Физико-химическая характеристика вод			
		Ионно-солевой состав	Компоненты и их содержание, мг/л	Минерализация вод, г/л	Температура, °С
21. Кремнисто-йодобромные хлоридные натриевые	Венное (скв. 5), Майковский (скв. 8)	$\text{HCO}_3\text{—Cl—Na}$; Cl—Na	$\text{I} > 5$; $\text{Br} > 25$; $\text{SiO}_2 > 50$; NaCl	> 10	> 42
22. Борно-йодные хлоридные натриевые	Колтушинский (Колтедаг, скв. 23)	Cl—Na	$\text{I} > 5$; $\text{H}_2\text{BO}_3 > 5$; NaCl	> 10	< 20
23. Борно-йодобромные хлоридные натриевые	Челекенский	Cl—Na	$\text{I} > 5$; $\text{Br} > 50$; $\text{H}_3\text{BO}_3 > 50$; NaCl	> 10	$20\text{—}37$; $37\text{—}42$; > 42
24. Йодные с содержанием органических веществ хлоридные натриевые	Северное Колондо (Сахалинский)	Cl—Na	$\text{I} > 5$; NaCl ; $\text{C}_{\text{орг}} > 15$	> 10	$37\text{—}42$; > 42
25. Кремнисто-борные хлоридные натриевые	Чаплинский (Магаданский)	Cl—Ca—Na	$\text{Br} > 25$; $\text{SiO}_2 > 50$; NaCl	> 10	> 42

Такие же по составу йодные воды выявлены в глинистых тонкозернистых песках и песчаниках, обогащенных органическим веществом в юго-западной части Литвы (ист. Калверия). Минерализация вод составила 5,6 г/л, содержание йода — 9 мг/л.

На Кавказе в отложениях неогена и палеогена Куринского бассейна встречены йодные воды с минерализацией 6—7 г/л. Редко минерализация вод достигает 35 г/л, содержание йода — до 50 мг/л. Бром в этих водах или совершенно отсутствует, или содержится в очень незначительных количествах.

Йодные воды выявлены в плиоценовых отложениях Западно-Туркменского бассейна. Минерализация вод достигает 30—35 г/л, а содержание йода 216 мг/л. Йодные воды вскрыты также в палеоген-неогеновых отложениях северной части Ферганской котловины (г. г. Чуст, Пап), где содержание йода достигает 50 мг/л.

Бромные воды и рассолы в отличие от йодных имеют очень широкое распространение. Они развиты на большей части территории Восточно-Европейской и Сибирской платформ. В Северо-Двинском бассейне в отложениях палеозоя бромные рассолы с минерализацией 97—190 г/л содержат 375—900 мг/л брома (Кажим). На юге Тимана, в Печорском бассейне в отложениях кембрия-палеогена скважинами вскрыты рассолы с минерализацией от 50 до 235 г/л и содержанием брома до 800 мг/л (поселки Нижняя Омра, Северная Мылва).

В Прибалтике, в пределах Эстонии, бромные воды с минерализацией 11—15 г/л и содержанием брома до 50 мг/л развиты в верхней трещиноватой зоне кристаллического фундамента на глубинах 230—270 м (пос. Хирвели, курорт Пярну). В Латвийской седловине бромные рассолы имеют минерализацию 70—125 г/л и содержание брома в них достигает 500 мг/л (поселки Блиден, Пилтене, Фелите). В западной Литве в нижнепротерозойских и палеозойских отложениях на глубинах 800—2000 м развиты рассолы с минерализацией до 200 г/л и содержанием брома до 780 мг/л (поселки Кункояй, Стонишкяй).

В Припятском прогибе в ультракрепких рассолах содержание брома достигает 3650 мг/л (с. Речица). На юго-восточном погружении Воронежской антеклизы (с. Белая горка) вскрыты скважинами воды с минерализацией 9 г/л и содержанием брома 35 мг/л. На больших глубинах бромные воды имеют хлоридный кальциево-натриевый состав и минерализацию 35—270 г/л.

В восточной половине Московского и прилегающего к нему с востока Волго-Камском и Сурко-Хоперском артезианских бассейнах (курорты Валдай, Монино, Сборная) развиты воды и рассолы с содержанием брома от 80 до 1500 мг/л (до 50 мг/л в расчете на воду с минерализацией 10 г/л). В глубоких горизонтах Московского бассейна сверхкрепкие рассолы с минерализацией 240—270 г/л содержат до 1500 мг/л брома. В Поволжье бромные воды и рассолы распространены почти повсеместно. В Пермской области, вплоть до восточной границы Предуральяского прогиба, ультракрепкие бромные рассолы распространены ниже гнейсово-ангидритовых пермских отложений (г. Краснокамск). Они содержат до 1800 мг/л брома.

В пределах Сибирской платформы в глубоких горизонтах Конского, Среднеангарского, Ленско-Вилуйского артезианских бассейнов на глубинах 2—3 км развиты ультракрепкие рассолы с содержанием брома до 7000 мг/л.

Бромные воды и рассолы развиты на отдельных участках более молодых структур. В Средней Азии, в неогеновых отложениях Западно-Туркменского артезианского бассейна, в Центральных и Юго-Западных Каракумах (поселки Керкичи и Фараб, г. Мары) распространены рассолы с минерализацией 40—120 г/л и содержанием брома от 100 до 400 мг/л. В глубоких горизонтах развиты ультракрепкие рассолы (до 500 г/л) с содержанием брома до 1700 мг/л. В Сурхан-Дарьинском и Бухаро-Каршинском бассейнах (поселки Кокайты, Култук, Аламбек) рассолы с минерализацией 100—200 г/л содержат 280—520 мг/л брома. В ультракрепких рассолах глубоких горизонтов содержание брома достигает 1590 мг/л (поселки Зеварды, Нишан). В Тургайском, Южно-Мангышлакском и других районах Казахстана и Узбекистана вскрыты бромные воды с минерализацией от 4 до 22 г/л и содержанием брома 33—63 мг/л (районы Челкара, Мангышлака и др.). На территории Ростовской области, в пределах Донецкого прогиба скважинами вскрыты воды с минерализацией от 5 до 35 г/л (иногда более 35 г/л) и содержанием брома 170—320 мг/л (села Вешенское, Иллиодоровка и др.).

В Грузии в периферийной части Кодорского бассейна распространены хлоридные кальциевые, бромные рассолы с минерализацией до 55 г/л и содержанием брома до 165 мг/л (источники Лугела и Кехви).

Йодобромные воды имеют широкое распространение главным образом в пределах молодых платформенных областей и в предгорных прогибах, примыкающих к молодым горно-

складчатым сооружениям. В пределах Предкавказского и Донецкого прогибов в глубоких горизонтах осадочных отложений (Азово-Кубанский, Терско-Кумский, Восточно-Дагестанский артезианские бассейны) используется ряд месторождений йодобромных вод (Майкопское, Ходыженское, Грозненское, Георгиевское). Воды имеют минерализацию от 5 до 25 г/л с содержанием йода до 500 и брома до 110 мг/л. В районе Кавказских минеральных вод распространены хлоридные натриевые йодобромные воды с минерализацией 20—35 г/л (города Пятигорск, Ессентуки и др.) с содержанием йода до 12 и брома до 70 мг/л.

В Краснодарском крае на Черноморском побережье (Кудепстинское месторождение) йодобромные воды имеют минерализацию 20—24 г/л, с содержанием йода 28—30 и брома 70—72 мг/л.

В Западной Сибири в отложениях сеномана и нижнего мела йодобромные воды распространены в 100—150 км от ее западного горного обрамления (Урала). Минерализация их от 5 до 15 г/л, содержание йода изменяется от 5 до 18, брома от 25 до 60 мг/л (Тавдинская скв., Колпачевская скв.).

В глубоких горизонтах минерализация йодобромных вод увеличивается до 35 г/л (города Ханты-Мансийск и Тобольск, поселки Заводоуновка и Тавди и др.). Содержание йода в них составляет 20—22, брома 72 мг/л. В йодобромных водах Западной Сибири содержится HVO_2 до 70 мг/л.

Йодобромные воды (часто термальные) с минерализацией от 5 до 25 г/л вскрыты глубокими скважинами в Северо-Сахалинском артезианском бассейне. Содержание йода и брома достигает в них 60 мг/л (поселки Северное Колендо, Паромой и Долинск).

Йодобромные воды распространены в Куринском, Ялама-Хачмасском и Апшеронском артезианских бассейнах Азербайджанской ССР. Их минерализация обычно составляет 5—15 г/л (редко достигает 30—35 г/л), с содержанием йода и брома до 40—60 мг/л. Представитель йодобромных вод — Нафталанское месторождение. Минерализация вод здесь составляет 10 г/л, содержание йода 10, брома 38 мг/л.

Широкое распространение йодобромные воды имеют в областях Скифско-Туранской платформы и предгорных прогибах, примыкающих к молодым горно-складчатым структурам (Западно-Туркменский, Южно-Устюртский, Южно-Мангышлакский, Бухаро-Каршинский и другие артезианские бассейны). Минерализация вод изменяется от 4—5 до 35 г/л и более. Содержание йода достигает 13—216, брома 40—400 мг/л (поселки Челекен, Аламбек, Шахпахты и др.).

Йодобромные воды встречаются в межгорных впадинах древних горно-складчатых сооружений, характеризующихся большими мощностями осадочных отложений (Ферганский артезианский бассейн).

В нефтегазоносных бассейнах йодные, бромные и йодобромные воды обогащены сероводородом (Молдавия, Западный Копетдаг, Балхан, Западно-Туркменская низменность и др.). В районах молодой складчатости йодные, бромные, йодобромные воды обогащены углекислотой, бором, мышьяком (источники Раздан, Двин, Джульфа и др.).

3.5. Кремнистые термы

Кремнистые термы (азотные термальные воды) — обычно содержат в повышенных количествах $\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3^-$ и другие микрокомпоненты (Fe, As, F, B и т. д.). Кремнистыми термами принято считать минеральные воды, содержащие $\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3^-$ более 50 мг/л с температурой выше 35 °С [14].

По концентрациям кремниевой кислоты $\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSO}_3^-$ (в мг/л) выделяют три подгруппы минеральных вод:

Кремнистые	50—100
Высококремнистые	100—150
Очень высококремнистые	> 150

Наибольшие концентрации кремниевой кислоты наблюдаются в термальных, особенно высокотермальных, водах. Бальнеологические свойства кремниевой кислоты были впервые признаны в СССР на примере азотных щелочных терм Кульдура, которые приняты в качестве критерия оценки лечебных свойств данного типа минеральных вод. Лечебные свойства минеральных вод, используемых для наружного применения, определяются также их термальностью [28].

Подразделение термальных вод по температуре приведено в табл. 3.24.

Образование кремнекислоты. Кремниевые соединения составляют более половины всей массы земной коры. Наиболее распространенные среди них — кремнезем и силикаты. Среди магматических пород наибольшее количество кремнезема (до 71%) содержат кислые породы (граниты, липариты, ортофиры и др.). В глинах и сланцах содержится 50—58% кремнезема.

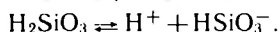
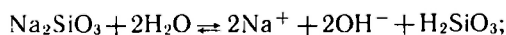
В подземные воды кремнезем попадает в результате растворения кремне содержащих пород и из вулканических

Таблица 324

Классификация термальных вод по температуре (в °С)

Наименование вод	По В. А. Александрову (1932 г.)	По В. В. Иванову (1955 г.)	По Ф. А. Макаренко (1961 г.)	По А. М. Озчинникову (1963 г.)	По В. В. Иванову и Г. А. Незраеву (1964 г.)	По Б. Ф. Марицкому (1964, 1971 гг.)	По М. К. Зайцеву и М. Н. Телстихину (1972 г.)
Теплые (слаботермальные, субтермальные)	20—37	20—37	20—40	20—37	20—35	20—50	20—35
Горячие (термальные)	37—42	37—42	40—70	37—42	35—42	50—75	35—50
Очень горячие (высокотермальные, гипертермальные)	42	42—100	70—100	42—100	42	75—100	50—70
Весьма горячие	—	—	—	—	—	—	70—100
Исключительно горячие (сверхгорячие, перегретые)	—	> 100	> 100	> 100	—	—	> 100
Слабоперегретые	—	—	—	—	—	100—150	—
Значительно перегретые	—	—	—	—	—	150—250	—
Сильно перегретые (весьма перегретые)	—	—	—	—	—	250—375	—

экспалляций. Наиболее растворим аморфный кремнезем. Особенность растворов кремнезема — способность образовывать коллоиды. Однако преобладающей формой миграции кремнезема в природных водах являются истинные растворы. Процесс обогащения вод кремнекислотой происходит по следующей схеме:



Образование коллоидной формы происходит в пересыщенных кремнеземом термальных водах. Главный фактор, определяющий растворимость кремнезема в воде — ее температура. Самые высокие содержания кремнезема (до 150 мг/л и более) были установлены в глубоко погруженных (до 3 км) водоносных горизонтах краевых прогибов, а также в областях молодой и современной вулканической деятельности.

Установлено, что растворимость кремнезема повышается в щелочных растворах, содержащих соли натрия. Присутствие солей калия, кальция и магния способствует растворению кремнезема, но в меньшей степени. Это объясняется тем, что в щелочной среде наиболее легко протекают реакции с образованием легкорастворимого кремнекислого натрия или его гидрата $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. При $\text{pH} = 9$ растворимость кремнезема резко возрастает, так как он начинает диссоциировать. Воды с низкими значениями pH также являются хорошими растворителями кремнезема и его соединений. Высокие концентрации SiO_2 (до 100 мг/л) присущи сильно-кислым рудничным водам.

Наличие в минеральных водах углекислоты способствует переходу кремнезема в раствор. Присутствие в водах фтора и алюминия приводит к разрушению полимерных форм кремнезема и способствует удержанию его в растворах.

В кремнистых термах кремнезем содержится в трех основных формах: в виде молекулярной кремниевой кислоты (метакремниевой — H_2SiO_3 и ортокремниевой H_2SiO_4), гидросиликат-иона (HSiO_3^-) и в коллоидной форме в виде высокодисперсного золя. Наиболее вероятной формой нахождения молекулярной кремниевой кислоты в водах считается H_2SiO_3 .

В анализах минеральных вод часто указываются содержания молекулярной кремниевой кислоты H_2SiO_3 и гидросиликатного иона HSiO_3^- . Соотношение между ними зависит от величины pH . В водах с $\text{pH} < 8$ содержание

$\text{HSiO}_3^- < 1,5\%$. В щелочных водах при $\text{pH} > 8,5$ содержание $\text{HSiO}_3^- > 15\%$ общего содержания кремниевой кислоты.

Химический состав кремнистых терм. Химический состав кремнистых терм довольно разнообразен.

По составу анионов кремнистые термы подразделяют на шесть классов:

1. HCO_3-Na — источники Ели-Су, Халтан, Абаканский, Тумнинские, Могойский.

2. $\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Na}$, в отдельных случаях $\text{Ca}-\text{Na}$ — источники Ямчин, Алма-Арасан, Белокуруха, Баунт, Хакуские.

3. SO_4-Na или $\text{Ca}-\text{Mg}$ — источники Горячинск, Нилова Пустынь, Гаргинский, Эссовские.

4. $\text{Cl}-\text{HCO}_3-\text{Na}$ — воды месторождений Тбилиси, Кульдур, Талаз и др.

5. $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{HCO}_3-\text{Na}$ или $\text{Ca}-\text{Na}$ — воды городов Цхалтубо, Ташкента, источников Ходжа-Обигарм, Алтын-Арасан, Верхне-Ангараканского.

6. $\text{Cl}-\text{SO}_4-\text{Na}$ или $\text{Ca}-\text{Na}$ — источники Цаиши, Абастумани, Иссык-Ата, Копал-Арасан, Питателевские, Начикинские, Нижняя Паратунка.

Из 200 групп термальных источников СССР $\text{SO}_4^{2-} > 20\%$ -экв содержится в 150, HCO_3^- — в 130, Cl^- — в 90 источниках.

В составе катионов наблюдается резкое преобладание натрия над кальцием.

На территории СССР распространены преимущественно кремнистые термы второго и шестого классов (табл. 3.25).

Для азотных щелочных кремнистых терм характерна низкая минерализация (до 2 г/л). Термы с более высокой минерализацией обычно имеют хлоридный натриевый или кальциево-натриевый состав. По составу газов кремнистые термы представлены в основном азотными и реже метановыми и углекислыми термами. При этом многие кремнистые термы относятся одновременно и к другим группам лечебных минеральных вод (углекислым, радоновым и др.).

По составу газов выделяют четыре основные группы кремнистых терм.

1. Азотные, слабоминерализованные щелочные термы: $\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3 = 50 - 150$ мг/л.

2. Азотно-углекислые, хлоридные, перегретые ($T > 100$ °C):

$\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3 = 200 - 400$ мг/л.

3. Углекислые термальные воды:

$\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3 = 50 - 225$ мг/л.

Физико-химическая характеристика главных кремнистых терм СССР (по Л. Н. Барабанову, В. Н. Дислеру, 1981 г., с изменениями)

Месторождение (использование)	Класс воды	Тем- пера- тура, °С	Об- щая мине- рали- зация, г/л	Формула химического состава	Специфические микроэлементы (содержание, г/г; Кп, Бк/л)	рН	Вмещающие породы их геологический возраст
<i>Кавказская область</i>							
Тисарчели, ист. 1 (бальнеолечебница)	3	36	0,4	$\frac{SO_{,76} Cl_{118}}{(Na + K)_{46} Ca_{45}} \\ (CO_3 + HCO_3)_{45} Cl_{31}$	$H_2SiO_3 (0,053);$ $\Sigma H_2S (0,0017)$	8	Лавовые брекчии и туфолавы J ₂
Тбилиси, скв. 1 (бальнеогородок)	4	47	0,3	$\frac{(Na + K)_{78} Ca_{18}}{SO_{,38} HCO_{,33} Cl_{26}} \\ Ca_{52} Na_{24} Mg_{22}$	$H_2SiO_3 (0,030);$ $\Sigma H_2S (0,012);$ Rn (37) $H_2SiO_3 (0,026);$ Rn (404)	9,3	Трифогенно-осадочная гальда P ₂
Цхалтубо, ист. 1 (ку- порт)	5	34	0,9	<i>Колетбаская область</i>			
Арчман (курорт)	5	28	1,6	$\frac{SO_{,42} Cl_{137} HCO_{,20}}{(Na + K)_{52} Ca_{31} Mg_{17}}$	$H_2SiO_3 (0,019);$ $\Sigma H_2S (0,014)$	7,5	Контакт известняков K ₁₋₂ и конгломератов N ₂
<i>Центрально-Памирская область</i>							
Джиланды	2	60	0,3	$\frac{(HCO_3 + CO_3)_{47} SO_{,26} F_{16}}{(Na + K)_{90} Ca_7}$	$H_2SiO_3 (0,058);$ $\Sigma H_2S (0,0058);$ F (0,010)	8,9	Граниты и граноди- оригы MZ

Иссык-Булак	2	63	1,1	$\frac{\text{HCO}_3\text{53 SO}_4\text{30}}{(\text{Na} + \text{K}) 86 \text{ Mg}8}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,072);$ F(0,009)	7,2	Дайка диоритов в породах P-Г ₁
<i>Тянь-Шаньская область</i>							
Алла-Арасан, скв. 1 (курорт)	2	37	0,3	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)40 \text{ SO}_4\text{37}}{(\text{Na} + \text{K})97 \text{ Ca}2}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,046);$ F(0,0074); $\Sigma \text{H}_2\text{S}(0,003)$	9,5	Граниты, диориты, порфириты PZ
Сары-Агач, скв. 1 (курорт, завод розлива)	1	50	0,7	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)67 \text{ Cl}17}{\text{Na}99}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,016);$ F(0,0012); Rn(92)	8,3	Песчано-глинистая толща K ₁
Арасан-Гульчирский источник (навальный бассейн)	5	27	0,5	$\frac{\text{HCO}_3\text{50 SO}_4\text{32 Cl}12}{\text{Na}42 \text{ Mg}38 \text{ Na}19}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,012);$ F(0,0003)	7,5	Песчаники, сланцы, известняки C ₂
Джалалабад скв. 1 (курорт, завод розлива)	5	43	1,6	$\frac{\text{SO}_4\text{55 HCO}_3\text{24 Cl}20}{(\text{Na} + \text{K})51 \text{ Ca}36}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,025);$ F(0,0004)	7,4	Песчано-глинистая толща J ₃ , известняк, во-сланцевая толща PZ
Ташкент, скв. 4 (багинегородок завод розлива)	5	50	0,8	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)54 \text{ SO}_4\text{25 Cl}20}{(\text{Na} + \text{K})94 \text{ Ca}4}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,025);$ F(0,0016); Rn(59)	8,3	Песчано-глинистая толща K ₁
Ходжа-Обигарм, скв. 14-бис (курорт)	4	94	0,5	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)44 \text{ Cl}24 \text{ F}15}{(\text{Na} + \text{K})94}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,037);$ F(0,015); $\Sigma \text{H}_2\text{S}(0,0054)$	8,9	Граниты PZ ₂
Ах-Су, скв. 1 (санаторий)	6	59	0,4	$\frac{\text{SO}_4\text{34 Cl}32 \text{ F}16}{(\text{Na} + \text{K})90 \text{ Ca}10}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,054);$ F(0,016); Rn(444)	8,3	Граниты и гранодиориты PZ ₁

Продолжение табл. 3.25

Месторождение (использование)	Класс воды	Тем- пера- тура, °С	Об- щая мне- рали- зация, г/л	Формула химического состава	Специфические микроэлементы (содержание, г/л; Rn, Бк/л)	pH	Вмещающие породы, их геологический возраст
Барлык-Арасан (бальнеолечебница)	6	43	1,8	$\frac{SO_4 63 Cl 34}{(Na + K) 67 Ca 29}$	$H_2SiO_3(0,014);$ $F(0,0051);$ $\Sigma H_2S(0,0015)$	7,3	Порфиры, альбит- фиры и фельзиты PZ
Джержалан, скв. 1 (сачаторий)	6	44	0,9	$\frac{Cl 58 SO_4 29}{(Na + K) 90}$	$H_2SiO_3(0,022);$ $F(0,0035); Rn(8)$	7,9	Песчано-глинистая толща N
Йссык-Ата, скв. 7 (курорт)	6	54	0,2	$\frac{SO_4 44 Cl 21 HCO_3 18}{(Na + K) 84 Ca 15}$	$H_2SiO_3(0,037);$ $F(0,0066);$ $\Sigma H_2S(0,0034)$	8,0	Метаморфические сланцы, граниты O ₁₋₂
Оль-Гарм, скв. 4 (курорт)	6	51	0,8	$\frac{SO_4 61 Cl 28}{(Na + K) 69 Ca 31}$	$H_2SiO_3(0,052);$ $F(0,0088); Rn(118)$	8,0	Песчано-гравелитовые отложения O ₁₋₂ , гра- ниты PZ
Копал-Арасан, скв. 5 (курорт)	6	43	0,6	$\frac{SO_4 Cl 36}{(Na + K) 92 Ca 7}$	$H_2SiO_3(0,056);$ $F(0,014); Rn(560)$	8,0	Сланцы, песчаники, граниты P ₁₋₃
<i>Алтайская область</i>							
Белокурixa, скв. 4-э (курорт)	2	37	0,3	$\frac{SO_4 40 HCO_3 36 Cl 16 F 11}{(Na + K) 95 Ca 4}$	$H_2SiO_3(0,052);$ $F(0,011); Rn(710)$	9,2	Граниты P ₁₋₃
Рахмановское, скв. 2 (санаторий)	2	37	0,2	$\frac{(HCO_3 + CO_3) 69 SO_4 15}{(Na + K) 78 Ca 11}$	$H_2SiO_3(0,045);$ $F(0,0024); Rn(368)$	8,9	Граниты PZ ₂

Тувинская область

Ущ.-Белдыр, скв. 4 (курорг)	2	82	0,4	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)50\text{SO}_415\text{HS}13\text{F}13}{(\text{Na} + \text{K})99}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,124);$ $\text{F}(0,010);$ $\Sigma\text{H}_2\text{S}(0,021)$	9,6	Сциениты, граносиениты D, метаморфические сланцы, кварциты PR ₂
<i>Саяно-Байкальская область</i>							
Былыра, скв. 2 (бальнеолечебница)	1	45	0,3	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)56\text{F}14\text{SO}_413}{(\text{Na} + \text{K})50 \text{Ca}29 \text{Mg}21}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,056);$ $\text{F}(0,010); \text{Rn}(665)$	9,5	Граниты T
Могойское (бальнеолечебница)	1	83	0,5	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)68 \text{SO}_414}{(\text{Na} + \text{K})92 \text{NH}_46}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,102);$ $\text{F}(0,078);$ $\Sigma\text{H}_2\text{S}(0,0136)$	8,6	Граниты и метаморфические породы PR ₂
Баунтоевское (бальнеолечебница)	1	54	0,4	$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)39\text{F}25\text{SO}_419}{\text{Na}94}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,079);$ $\text{F}(0,0228);$ $\Sigma\text{H}_2\text{S}(0,015)$	9,4	Граниты PZ ₁
Харкусы (бальнеолечебница)	3	47	0,4	$\frac{\text{SO}_471\text{HCO}_319}{\text{Na}78\text{Ca}20}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,046);$ $\text{F}(0,003)$	8,1	Граниты PR ₂
Гаргинское (бальнеолечебница)	3	75	1,1	$\frac{\text{SO}_474(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)12}{\text{Na}96}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,082);$ $\text{F}(0,0097); \text{Rn}(140)$	8,2	То же
Горячинск, скв. 1/63 (курорг)	3	52	0,7	$\frac{\text{SO}_482(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)9}{(\text{Na} + \text{K})81\text{Ca}11}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,060);$ $\text{F}(0,0013)$	9,4	Граниты PR ₂ , гнейсы, мигматиты AR
Дилова Пустынь, скв. 2 (бальнеолечебница)	3	40	1,0	$\frac{\text{SO}_485 \text{HCO}_49}{(\text{Na} + \text{K})66 \text{Ca}20}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,062);$ $\text{F}(0,010);$ $\Sigma\text{H}_2\text{S}(0,000);$ $\text{Rn}(365)$	8,2	Граниты PR ₂ и PZ ₁

Месторождение (использование)	Класс воды	Тем- пера- тура, °С	Об- щая ради- зация, г/л	Формула химического состава	Специфические микроэлементы (содержание, г/л; Рп, Бк/л)	pH	Вмещающие породы, их геологический возраст
Питателевское, скв. 63 (курорт)	3	71	1,2	$\frac{SO_{186}}{(Na+K)78 Ca14}$	$H_2SiO_3(0.057);$ $F(0.0085); Rn(74)$	8,5	Граниты PR ₂ и PZ ₁ , конгломераты K ₁ -J ₃
<i>Буриинско-Охотская область</i>							
Амгу (бальнеоле- чебница)	2	36	0,2	$\frac{(HCO_3+CO_3)58 SO_425}{(Na+K)91 Ca8}$	$H_2SiO_3(0.070);$ $F(0.001)$	9,3	Конта с гранитов P с андезитами N
Ваг-гоу (бальнеоле- чебница)	1	31	0,1	$\frac{(HCO_3+CO_3)82 Cl10}{(Na+K)81 Ca15}$	$H_2SiO_3(0.031);$ $F(0.0032)$	9,4	Граниты P
Анненские во- ды, скв. 21 (бальнеоле- чебница)	2	53	0,3	$\frac{(HCO_3+CO_3)53 SO_421}{(Na+K)94 Ca4}$	$H_2SiO_3(0.105);$ $F(0.0024)$	9,3	Туфолесчаники, туфо- генно-осадочные по- рды K ₂
Турминское (баль- неолечебница)	2	43	0,2	$\frac{(HCO_3+CO_3)62HSiO_312Cl10}{Na88 Ca11}$	$H_2SiO_3(0.083)$	9,4	Граниты, базальты P
Кульдур, скв. 2/61 (курорт)	4	71	0,4	$\frac{(HCO_3+CO_3)40Cl24F20}{Na96 Ca2}$	$H_2SiO_3(0.105);$ $F(0.012)$	9,2	Граниты PR ₂

$\frac{(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)53 \text{ Cl}31}{(\text{Na} + \text{K})96 \text{ Ca}3}$

Талая, скв. 15 (курорт)

4 87 0,5

$\text{H}_2\text{SiO}_3(0,118)$;
F(0,018);
 $\Sigma \text{H}_2\text{S}(0,0035)$;
Rn(13)

9,0 Порфириды, сланцы T₃

Камчатская область

$\frac{\text{SO}_6(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3)34}{(\text{Na} + \text{K})85 \text{ Ca}15}$

Малое Банное 2 80 0,8

8,0 Эффузивные породы P—N

$\frac{\text{SO}_438 \text{ Cl}36 \text{ HCO}_323}{(\text{Na} + \text{K})97 \text{ Ca}3}$

Малкиское 6 83 0,6

9,4 Туфы, кремнезем K

$\frac{\text{SO}_459 \text{ Cl}31}{(\text{Na} + \text{K})90 \text{ Ca}8}$

Начки, скв. 19 (санаторий) 6 71 1,2

8,4 Диоритовые порфириды N₁

$\frac{\text{SO}_465 \text{ Cl}31}{(\text{Na} + \text{K})52 \text{ Ca}45}$

Озерное (бальнеолечебница) 6 85 1,3

8,5 Андезиты и туфы Q

$\frac{\text{SO}_469 \text{ Cl}26}{(\text{Na} + \text{K})61 \text{ Ca}37}$

Нижняя Паратунка, (санаторий) 6 42 1,6

8,1 Вулканогенно-осадочные породы P—N

$\frac{\text{SO}_435 \text{ Cl}11}{(\text{Na} + \text{K})71 \text{ Ca}28}$

Средняя Паратунка, скв. K-11 6 88 1,1

8,7 Вулканогенно-осадочные породы P—N

$\frac{\text{SO}_470 \text{ Cl}26}{(\text{Na} + \text{K})70 \text{ Ca}28}$

Верхняя Паратунка 6 71 1,0

То же

$\frac{\text{Cl}62 \text{ SO}_435}{(\text{N} + \text{K})78 \text{ Ca}21}$

Добрый Ключ, о. Кунашир 6 68 1,4

8,1 Туфопесчаники N

4. Кислые «фумарольные» термы:

$\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3 = 200 - 425 \text{ мг/л.}$

Условия формирования и распространения кремнистых терм. Кремнистые термы имеют достаточно широкое распространение на территории СССР. Они известны в пределах областей современного и молодого вулканизма, в активизированных зонах древних платформ и горно-складчатых областей, а также в пределах молодых платформ. Как отмечали А. М. Овчинников, Н. И. Толстихин, выходы терм приурочены обычно к молодым глубинным разломам. Особенно широко развиты кремнистые термы в зоне альпийской складчатости и по ее периферии, где имеются благоприятные условия для проникновения атмосферных осадков и разгрузки напорных терм по зонам разломов.

Большой известностью пользуются кремнистые термы Кавказа, Копетдага, Тянь-Шаня, Алтая, Саян, Забайкалья и Дальнего Востока (см. табл. 3.25), которые в значительной степени используются для лечебных целей. К наиболее известным месторождениям кремнистых терм относятся Кульдур, Алма-Арасан, Ходжа-Обигарм, Ак-Су, Горячинск, Камчатские термы и др.

Среди кремнистых терм наиболее высокой температурой обладают термы месторождения Ходжа-Обигарм. Месторождение находится в пределах Гиссарского хребта Тянь-Шаня. Термы приурочены к гранитному массиву и разгружаются в зоне разлома на высоте 1870 м. К термовыводящей зоне приурочен очаг выхода горячего пара, на базе которого функционирует паролечебница курорта Ходжа-Обигарм. Самоизливающаяся минеральная вода с температурой 64—98 °С выведена скважинами из зоны разлома в гранитах палеозоя. По химическому составу вода хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная натриевая с минерализацией 0,5 г/л и $\text{pH} = 8,9$. Среди бальнеологически активных элементов в термальной воде установлены фтор (до 15 мг/л), кремниевая кислота (до 137 мг/л) и радон (до 400 Бк/л).

Геологические закономерности распространения терм сводятся к следующему: 1) они распространены в областях новейшего горообразования и высокой сейсмичности; 2) приурочены преимущественно к изверженным и метаморфическим породам, слагающим жесткие массивы; 3) выходы терм на поверхность чаще всего связаны с разломами глубинного заложения (сейсмотектоническими линейментами).

По формационной приуроченности среди месторождений кремнистых терм выделяются: а) связанные преимущественно с кристаллическими образованиями и гранитоидами;

б) связанные с терригенными отложениями краевых частей артезианских бассейнов; в) связанные с вулканогенно-осадочными и вулканогенными породами.

С кристаллическими, преимущественно кислыми изверженными породами, связана большая часть месторождений кремнистых терм. Они, как правило, приурочены к системам тектонических трещин, образующих зоны вдоль крупных региональных разломов. Термы имеют выход на дневную поверхность в очагах разгрузки вод глубокой циркуляции. В приповерхностной зоне они часто смешиваются с холодными грунтовыми водами (курорты Белокуриха, Ущ-Белдир, Горячинск и др.). Выделяют следующие основные этапы формирования химического состава кремнистых терм в кислых магматических породах: 1) окисление сульфидов кислородно-азотными инфильтрационными водами с образованием сульфатов железа, свинца и других металлов; 2) осаждение из водных растворов тяжелых металлов в виде гидроокисей, вторичных сульфидов и других нерастворимых соединений путем окисления сульфатов тяжелых металлов и десульфатизации, при этом на отдельных участках образуются кислые воды, содержащие свободную серную кислоту; 3) разложение кислыми водами и, в частности, серной кислотой алюмосиликатов с выносом из них SiO_2 , Al, Na, K и других компонентов; 4) окислительно-восстановительные реакции с образованием гидроокиси алюминия и выпадение последней в осадок [2].

Месторождения кремнистых терм в осадочных породах расположены в краевых частях межгорных впадин и предгорных прогибов, представляющих собой малые и средние артезианские бассейны. Очаги разгрузки терм локализуются в периклинальных частях антиклинальных складок, осложненных тектоническими нарушениями.

Примерами кремнистых терм, вскрытых скважинами в карбонатных и песчано-глинистых комплексах пород, могут служить источники: Тбилиси, Цхалтубо, Цаиши, Ташкент, Сары-Агач и др.

Месторождения в вулканогенно-осадочных породах Малого Кавказа, Приморья, Охотско-Чукотского пояса, Камчатки и Курил представляют собой трещинные или пластово-трещинные водоносные системы областей альпийской складчатости. Наиболее известные месторождения этой группы — Паратунское, Малкинское, Начиканское, Абастумани и др.

В термальных водах содержание кремнекислоты возрастает с увеличением температуры. В очень горячих термах Камчатки и Курильских островов содержание кремнекислоты

достигает 180 мг/л. Высокая температура минеральной воды указывает на то, что она формируется на глубинах до нескольких километров в условиях тектонической трещиноватости, развивающейся в породах в связи с сейсмической активностью. Крупные весьма горячие источники с температурой более 70 °С находятся в центрах магматической деятельности — в жерлах вулканов или над экструзивными куполами. К таким источникам относятся: Могойский, Человек, Ущ-Белдир.

Отдельные источники кремнистых терм связаны с кольцевыми структурами. Например, к кольцевым структурам Буреинского массива приурочены источники: Кульдур, Тырминские, Быссинский. К Муйской и Верхне-Ангарской кольцевым структурам относятся выходы Муйского, Муяканского, Верхне-Ангарского, Могойского и других термальных источников.

На обзорных картах минеральных вод, составленных А. И. Дзенс-Литовским, Н. И. Толстихиным, В. В. Ивановым и другими исследователями, выделена провинция азотных термальных вод, охватывающая южную и восточную части территории СССР. Эта провинция по площади распространения совпадает с зоной новейшего горообразования (молодых тектонических движений) неоген-четвертичного возраста. Молодые глыбовые или складчатые поднятия и опускания в пределах этой зоны сочетаются с глубокими, протяженными и разрывными дислокациями. Крупные тектонические нарушения в сочетании с сетью мелкой трещиноватости представляют собой важный фактор миграции термальных вод. В Курило-Камчатской области современного вулканизма тепловые очаги приближены к поверхности, в связи с чем на дневную поверхность часто поступают перегретые термы (парогидротермы).

По геолого-структурным, геотермическим и гидрохимическим условиям на территории СССР выделяют девять областей развития кремнистых терм:

1. Кавказская область, охватывающая горные районы Азербайджана (юго-восточная часть Большого Кавказа) и Грузии (южные склоны Большого Кавказа и Аджаро-Триалетской зоны), а также отдельные районы северного склона Большого Кавказа (Кабардино-Балкария и Дагестан).

2. Копетдагская область.

3. Централно-Памирская область, включающая области р. Гунт и прилегающие к ним Шугнанский и Рушанский хребты.

4. Тянь-Шаньская область, охватывающая Алайскую, Северо-Тянь-Шаньскую, Джунгарскую и Тарабагатайскую горные области.

5. Алтайская область, включающая Горный Алтай и Западную часть Западного Саяна.

6. Тувинская область в юго-восточной части Тувы.

7. Саяно-Байкальская область.

8. Буренско-Охотская область, включающая обширные пространства бассейнов рек Зеи и Буреи, Приамурья, Приморья, Охотского побережья и Колымской горной страны.

9. Камчатская область, к которой относятся Центральная Камчатка и некоторые районы Южной и Восточной Камчатки, а также Курильские острова [2].

3.6. Воды, обогащенные органическим веществом

Среди вод, лечебные свойства которых определяются растворенными в них органическими веществами, наиболее изучены воды «Нафтуса» курорта Трускавец в Западной Украине. При оценке лечебных свойств слабуминерализованных минеральных вод типа «Нафтуса» в качестве основного показателя принимают суммарное содержание органического углерода $C_{\text{орг. общ.}}$, в том числе углерода нелетучих веществ $C_{\text{орг. нелетуч.}}$ и углерода летучих веществ $C_{\text{орг. летуч.}}$, а также содержание органического азота $N_{\text{орг. общ.}}$.

К минеральным лечебным питьевым водам типа «Нафтуса» относятся слабуминерализованные (0,3—1,0 г/л) гидрокарбонатные различного катионного состава воды с низким газосодержанием (до 100 мг/л), в которых в качестве биологически активного компонента содержатся 10—20 мг/л органических веществ $C_{\text{орг.}}$ [8] (табл. 3.26). К водам типа «Нафтуса» отнесены воды (кроме Трускавецкого месторождения) Березовского, Сходницкого, Збручанского месторождений Украины, Ундорского источника в Ульяновской области, Калаалты и Тенгиалты в Азербайджане. Установлено, что валовое содержание органических веществ в этих водах составляет 8,35—23,8 мг/л (в пересчете на органический углерод). Остальная часть органики определяется как нестабильная [17].

Битуминозные вещества, содержащиеся в водах, представляют собой высокомолекулярные соединения. В их составе находятся ароматические соединения (8%), непредельные углеводороды (13%), гетеро- и аминоксоединения.

Битуминозные вещества, люминесцирующие голубым цветом (см. табл. 3.26), при тонкослойной хроматографии

Т а б л и ц а 3.26

Характеристика органических веществ, содержащихся в минеральных водах «Нафтуся» (по А. Е. Бабинцу и др.)

Водопункт	Бихроматная окисляемость компонентов, мг/л		Содержание органического углерода, мг/л	Битуминозные вещества, мг/л			Азот	
	летучих	нелетучих		Голубая зона	Желтая зона	Коричневая зона	органический, мг/л	аминный, мкг/л
Скв. 21-Н	0,271	0,755	9,3	0,288	0,160	1,167	0,09	4,3
Скв. 17-Н	0,599	1,345	6,1	0,238	0,095	0,134	0,14	4,0
Скв. 22-Н	0,490	2,374	8,3	1,582	1,092	0,467	0,12	5,0
Скв. 1-НО	0,611	2,350	11,9	4,150	1,223	0,650	0,12	7,6
Скв. 8-НО	0,273	0,470	4,3	0,171	0,203	0,146	0,21	4,9
Источник 11	0,291	0,503	8,4	0,161	0,099	0,073	0,07	5,0

представляют собой нефтепродукты, желтым — смолы, коричневым — гуминовые вещества. Количество нефтепродуктов в воде «Нафтуся» при ее хранении в условиях комнатной температуры уменьшается в течении 4 сут в 10 раз по сравнению с первоначальным [77].

В водах типа «Нафтуся» содержатся также фенолы (до 2,5 мг/л), в водах же Збручанского месторождения фенолы отсутствуют, однако эти воды оказывают бальнеологическое действие аналогично водам Трускавецкой «Нафтуси».

Т а б л и ц а 3.27

Характеристика органических веществ, содержащихся в минеральных водах (по А. Е. Бабинцу, В. М. Шестопалову и др., 1986 г.)

Водопункт	Бихроматная окисляемость, мг/л	Общее содержание органических веществ, мг/л			Битумы, мг/л (нейтральные + кислые)
		валовое	летучих	нелетучих	
Источник 1	1,33—4,32	10,8—17,4	6,0—12,6	3,6—6,6	1,4—3,0
Источник 10	2,28—5,44	10,4—15,2	6,6—11,9	3,6—8,0	1,4—3,2
Скв. 1-С	3,92—7,20	10,4—15,0	6,9—10,6	2,9—8,4	1,7—6,1
Скв. 18-С	6,56—10,02	16,8—23,2	11,6—17,4	4,2—9,0	1,6—7,1
Скв. 21-Н	—	20,2—22,1	12,0—13,4	7,2—8,9	2,4—3,8
Скв. 17-Н	—	11,1—14,6	7,2—10,4	2,9—5,0	1,0—1,7

Характерный признак минеральных вод типа «Нафтуса» — наличие в них значительного количества труднорастворимых органических компонентов (табл. 3.27).

Большинство исследователей приходят к выводу, что лечебное действие вод типа «Нафтуса» определяется только наличием в них органических веществ. При этом основными носителями комплекса бальнеологической активности являются гидрофильные группы, обуславливающие высокую растворимость органических веществ в воде. По результатам экспериментальных исследований сделан вывод о том, что лечебным фактором вод «Нафтуса» являются нелетучие соединения органических веществ: битумы, гуминовые и фульвокислоты, а также гумусовые вещества в основном высокомолекулярных органических кислот сложного состава.

Бальнеологически активные компоненты вод Сходницкого месторождения — углеводородные соединения. Органические вещества характеризуются в целом высокой миграционной способностью. Решающее значение в формировании минеральных вод типа «Нафтуса» имеют процессы активного взаимодействия вод с водовмещающими породами, обогащенными органическим веществом.

Минеральные воды типа «Нафтуса» на Збручанском месторождении, расположенном на западном склоне Украинского щита, формируются в условиях отсутствия возможности поступления в воды бальнеологически активных органических веществ из нефтяных месторождений, которые в

водах типа «Нафтуса» Трускавецкого и Сходницкого месторождений

Гуминовые кислоты, мг/л	Карбоновые кислоты, мг/л	Спирторастворимые смолы, мг/л	Фульвокислоты, мг/л	Нефтеновые кислоты, мг/л	Аминосоединения	Фенолы, мг/л
0,02—0,2	0,14—0,20	2,3—3,1	0,5—0,9	0—0,03	Лизин, серин, цистеин	0,023
0,02—0,16	0,14—0,16	2,2—4,8	0,4—0,5	0—0,05	То же	0,0018
0,02—0,32	0,14—0,16	2,0—4,8	1,3—3,5	0—0,03	»	0,0018
0,03—0,54	0,10—0,17	1,6—3,2	1,7—4,7	Не обнаружены	»	0,0020
0,02	—	3,0—4,3	0,9—1,8	—	—	0,001—0,008
0,25—0,02	—	1,0—2,5	0,6—1,2	—	—	0,001—0,004

этом районе отсутствуют. Поэтому формирование вод типа «Нафтуса» объясняется исключительно поступлением органических веществ из водовмещающих пород. При этом важное условие — не максимальная концентрация органических веществ в породах, а наличие и возможность перехода в подземные воды бальнеологически активных органических соединений из общего комплекса органических веществ, находящихся в водовмещающих породах.

Для всех месторождений минеральных вод характерно одинаковое содержание органического углерода (10—25 мг/л), несмотря на различную обогащенность водовмещающих пород органическими веществами.

Химический и газовый состав вод типа «Нафтуса». Минеральные воды типа «Нафтуса» слабоминерализованы, с высоким содержанием органических веществ, нередко обладают слабым сероводородным (иногда нефтяным) запахом, обусловленным присутствием сернистых соединений и сероводорода. Воды холодные с температурой 8—12 °С, слабощелочные ($\text{pH} = 7,1 \div 8,5$), окислительно-восстановительный потенциал E_h изменяется от 90 до 230 мВ.

Химический состав вод: гидрокарбонатный кальциево-магниевый, иногда с повышенным содержанием сульфатов (Трускавецкое месторождение), с минерализацией 150—250 мг/л; гидрокарбонатный кальциевый, натриевый, натриево-кальциевый и кальциево-натриевый (Сходницкое месторождение) с минерализацией 150—250 мг/л; гидрокарбонатный кальциевый, кальциево-магниевый или натриево-магниевый-кальциевый (Збручанское месторождение) с минерализацией 400—950 мг/л (табл. 3.28).

Т а б л и ц а 3.28

Сопоставление макрокомпонентного состава (в %-экв) минеральных вод типа «Нафтуса» (по А. Е. Бабинцу, В. М. Шестопалову и др., 1986 г.)

Месторождение (проявление)	Общая минерализация, мг/л	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2+}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
Трускавецкое (источник «Нафтуса»)	680—780	70—86	7—12	7—14	47—63	26—46	1—6
Сходницкое	400—1000	57—97	0—22	0—24	2—77	0—33	13—94
Збручанское (г. Сатанов)	700—950	63—83	7—22	7—19	19—30	18—36	39—57
Гусятинское	700—900	49—79	0—36	0—21	12—35	11—38	26—77
Маковское	950—1070	75—91	3—4	6—8	2—5	0—7	92—98
Жабинцы	800—850	70—76	12—14	12—16	13—14	15—18	68—72
Пределы изменений	400—1070	49—97	0—36	0—24	2—77	0—46	1—98

Растворенных газов в водах типа «Нафтуса» содержится значительно меньше установленных бальнеологических норм. По газовому составу эти воды относятся к углекисло-кислородно-азотным. Объем содержания растворенного газа изменяется от 20 до 56 мг/л (табл. 3.29). Преобладающий компонент — азот, содержание которого по разным скважинам Трускавецкого месторождения изменяется от 66,9 до 81,9%.

Воды содержат также кислород (от 6,5 до 18,4%), углекислый газ (от 6,3 до 22,7%), иногда встречается сероводород (от 0,5 до 2,8 мг/л).

Сходным газовым составом характеризуются воды Сходницкого месторождения с несколько повышенным содержанием метана, что объясняется его приуроченностью к структурам Сходницкого нефтяного месторождения. В составе растворенных газов Збручанского месторождения, находящегося в иных геологических условиях, метан не обнаружен, содержание сероводорода составляет 0,5 мг/л.

Условия формирования и распространения минеральных вод типа «Нафтуса». Формирование вод этого типа происходит в зоне интенсивного (неглубокого) водообмена в условиях активного развития процессов взаимодействия инфильтрационных вод и водовмещающих пород, обогащенных органическим веществом. При этом обогащенность пород органическим веществом может быть незначительной (10^{-4} — $10^{-3}\%$). Существенное значение имеет не общая величина содержащихся органических веществ в породах, а условия перехода их в подземные воды, которые определяются гидрогеохимическими условиями в системе вода — порода. В пределах УССР выделены Подольская и Карпатская области минеральных вод типа «Нафтуса» [17]. В Подольской области минеральные воды типа «Нафтуса», развитые в силурийских отложениях, залегающих под мезо-кайнозойскими образованиями на глубинах до 200 м, характеризуются по всей площади своего распространения примерно одинаковым содержанием специфических органических веществ. Особенности питания, транзита и разгрузки, взаимодействия с водовмещающими отложениями обеспечивают насыщение вод органическими соединениями. Состав органических соединений в подземных водах на различных участках их распространения примерно одинаковый (в районах населенных пунктов Гулятин, Сокоринцы, Завалье, Маков, Жабинцы, Черемовцы, Подволочинск, Сатанов и др.). Бальнеологическое воздействие этих вод соответствует водам Трускавецкого месторождения.

Газовый состав минеральных вод «Нафтуся» Грускавецкого месторождения (по А. Е. Бабинцу, В. М. Шестопалову и др., 1986 г.)

Водяной пункт	Дата отбора пробы	Объем газовой пробы, мг/л	Кислород, %	Азот, %	Углекислоты, %	Метан, %	Тяжелые углеводородные газы, мг/л	Сероводород, мг/л	Радионуклиды, Бк/м ³
Источник «Нафтуся» I	1950	—	1,43	47,80	48,50	2,20	—	—	—
	1965	—	2,20	78,77	15,60	+	0,1—1,25 (вместе с CH ₄)	—	—
Скв. 21-Н	IX 1974	39,0	14,70	72,18	13,00	0,014	2,5·10 ⁻⁴	1,00	—
	VI 1974	36,0	18,48	74,80	6,70	0,006	—	—	2,37
	X 1974	22,4	16,29	73,32	10,39	0,100	—	1,09	—
Скв. 22-Н	VIII 1974	40,0	17,99	—	6,40	0,047	2,2·10 ⁻⁴	—	2,10
Скв. 17-Н	VII 1973	38,0	15,38	73,62	6,40	0,382	10 ⁻⁵	0,053	3,22
	X 1977	35,6	14,82	78,82	6,35	+	—	—	—
Скв. 1-НО	X 1977	23,5	17,53	72,34	10,07	+	—	—	—
Скв. 8-НО	X 1977	21,5	9,65	66,93	22,71	0,71	—	2,80	0,81
Скв. 17-НО	X 1977	16,5	6,49	81,23	11,80	0,48	—	0,95	—
Источник II	X 1977	38,0	15,32	68,77	10,26	2,39	—	0,30	3,5—3,83

Примечание. Знак «+» означает, что присутствие газов не обнаружено, знак «—» — присутствие газов не определялось.

Известные месторождения и проявления минеральных вод типа «Нафтуса» в Подольской области расположены в платформенной части Волыно-Подольской плиты на западном склоне Украинского щита. Обогащение вод органическим веществом происходит за счет перехода органических соединений из водовмещающих органогенных силурийских известняков. Условия циркуляции минеральных вод определяются степенью трещиноватости этих известняков. Наиболее высокой водообильностью характеризуются зоны тектонических нарушений.

В Украинских Карпатах минеральные воды, обогащенные органическими веществами, развиты во флишевых отложениях палеогена (менилитовая, быстрицкая, стебнинская и другие свиты), нижнего мела (шепотская свита) и характеризуются широким распространением.

Минеральные воды типа «Нафтуса» приурочены в основном к отложениям олигоцена (менилитовая свита) — битуминозным аргиллитам и менилитовым сланцам, характеризующимся повышенным (до 20%) содержанием органических веществ. Кроме известных Трускавецкого и Сходницкого месторождений в пределах Украинских Карпат выявлен ряд новых проявлений минеральных вод типа «Нафтуса» (с. Селятин и др.).

Минеральные воды с повышенным содержанием органических веществ известны на Урале (с. Обухово), где они широко используются для лечения, а также вблизи г. Ульяновска (Ундорские источники), в Краснодарском крае, Азербайджане, Восточной Сибири и других районах.

В Азербайджане на месторождении «Нафталан» при отстаивании термальных гидрокарбонатно-хлоридных натриевых вод с минерализацией 10 г/л получают лечебную нефть, которую применяют в бальнеологии для приготовления ванн.

3.7. Железистые, мышьяковистые и борные воды

Железистые воды. Для отнесения воды к минеральной железистой по ГОСТ 13273-88 содержание биологически активного компонента — железа должно составлять не менее 10 мг/дм³. Железо необходимо для построения клеток, роста организма, переноса кислорода. Оно представляет собой основной катализатор дыхательных процессов и влияет на образование гемоглобина. В организме человека содержится около 3 г железа, из которых 75% входит в состав гемоглобина.

По содержанию железа $Fe^{2+} + Fe^{3+}$ (в мг/л) минеральные воды разделяются на три группы:

Железистые	10—40
Крепкие железистые	40—100
Очень крепкие железистые	100

Образование железа. Железо — самый распространенный после алюминия металл в земной коре. Основная масса железа заключена в горных породах в двухвалентной форме Fe^{2+} , обычно в изоморфной смеси с магнием и элементами семейства железа. Средние содержания железа в различных типах пород (в %) составляют: ультраосновные породы 9,85, основные породы 8,56; средние породы 5,85; кислые породы 2,70; осадочные породы 3,33.

Наиболее важными минералами железа являются: магнетит, гематит, лимонит, сидерит, пирит, марказит, шамозит и др.

Двухвалентное железо при разрушении минералов под влиянием угольной кислоты и воды переходит в виде бикарбоната в раствор и мигрирует с подземными водами. Под воздействием кислорода двухвалентное железо легко переходит в трехвалентное Fe^{3+} , а его соединения гидролитически расщепляются в кислых растворах.

Железо может мигрировать также в форме сульфата, гуминовых соединений, коллоидных растворов и механических взвесей. Вынесенное из почвы железо часто мигрирует с грунтовыми водами. Железо, заключенное в сульфидных месторождениях, при их окислении переходит в сульфат закиси и затем в сульфат окиси, который легко гидролизуется с выделением гидроксида железа, образующего для месторождений характерную «железную шляпу».

Железо в воде может находиться в виде комплексных ионов. Оно переносится в водах и в форме комплексных хлоридных ионов ($FeCl^+$, $FeCl_2^+$, $FeCl_6^-$), комплексных щелочных ионов ($FeOH^+$, $Fe(OH)^{3-}$ и др.), а также соответствующих солей.

Железо в углекислых водах содержится в форме двухвалентных катионов Fe^{2+} , хорошо растворимых гидрокарбонатов $Fe(HCO_3)_2$, которые устойчивы при pH (от 3 до 8). Интервал pH осаждения $Fe(OH)_2$ находится в пределах от 7,4 до 8,8. При $pH < 3$ окисные формы Fe^{3+} устойчивы только в кислых рудничных водах.

Кислые высокожелезистые сульфатные (купоросные) воды приурочены к зонам окисления сульфидных месторождений.

Химический состав железистых вод. Железистые воды подразделяются на сульфатные (купоросные) и гидрокарбонатные. Сульфатные — кислые рудничные воды, содержащие до нескольких граммов в 1 л железа и других металлов (Al, Cu, Zn и др.). Железо в этих водах может находиться как в закисной, так и в окисной формах.

Гидрокарбонатные железистые воды имеют нейтральную или слабокислую реакцию. Концентрация двухвалентного железа в них редко превышает 50 мг/л. Максимальные количества железа в этих водах могут достигать 144 мг/л при $pH=5,52$.

По химическому и газовому составу В. В. Иванов выделил среди железистых вод четыре основных типа:

1. Азотные слабоминерализованные, с минерализацией до 2 г/л, различного ионного состава с содержанием железа 30—100 мг/л (Полюстровские источники, Марциальные, Джусалинские воды и др.).

2. Углекислые преимущественно среднеминерализованные, различного состава с содержанием железа 20—90 мг/л (источники Келечин, Кука, Шмаковка, Ласточка, Кожановские и др.).

3. Кислородно-азотные сульфатные, сложного катионного состава, кислые полиметаллические воды иногда с очень высокой минерализацией до 100 г/л, часто в сочетании с высокими концентрациями Al, Cu, Zn, As и других металлов (источники Зуби, Блявинские, Гайские и др.).

4. Слабоуглекислые (иногда сероводородно-углекислые), сульфатные и сульфатно-хлоридные сложного катионного состава сильнокислые фумарольные термальные воды с минерализацией до 5 г/л области современного вулканизма (фумаролы Камчатки и Курильских островов).

Условия формирования и распространения железистых вод. Железистые воды распространены на локальных участках, несмотря на широкое развитие железорудных пород. Условия их формирования определяются в основном геохимическими обстановками: резкоокислительной или восстановительной. Повышенные содержания железа характерны также для отдельных источников углекислых и фумарольных вод. Наиболее ценными железистыми водами, используемыми как лечебные питьевые, являются углекислые железистые. Месторождения этих вод выявлены в районах Малого Кавказа, Саян, Забайкалья и Приморья. Они приурочены к зонам разломов или к трещинно-пластовым горизонтам впадин.

Большая группа железистых вод связана с процессами окисления пород, обогащенных сульфидами металлов. Суль-

фатные железистые воды встречаются в пределах угленосных бассейнов Мосбасса, Донбасса, Кузбасса и др., а также на площадях распространения пестроцветных пород, углеродистых сланцев и на участках с колчеданными рудами. При низких значениях рН формируются купоросные воды, содержащие железо, Al, Cu, Zn и другие металлы. Они также находят применение в лечебных целях. Азотные слабо-минерализованные железистые воды используются в качестве питьевых лечебно-столовых по ГОСТ 13273-88. Отдельные представители этих вод приведены в табл. 3.30.

Среди железистых вод особую ценность представляют углекислые железистые воды, которые используются как питьевые лечебно-столовые или лечебные по ГОСТ 13273-88. Химический состав этих вод разнообразный. Общая минерализация их находится в пределах от 0,8 до 143 г/л (табл. 3.31).

Сульфатные кислые полиметаллические железистые воды формируются в зоне окисления сульфидных месторождений. В катионном составе рудничных сульфатных вод преобладают металлы (железо, алюминий, медь, марганец и др.), а также содержатся ионы кальция, магния и натрия. В кислых рудничных водах железо содержится в окисной и закисной формах в количествах до 10 г/л и более.

Примеры месторождений кислых железистых вод даны в табл. 3.32.

Фумарольные железистые слабоуглекислые или сероводно-углекислые термы встречаются в районах современного вулканизма. Эти воды отличаются высокими содержаниями ионов водорода ($\text{pH} < 3$), наличием свободной серной кислоты, сульфатным или хлоридно-сульфатным анионным и сложным катионным составом. Фумарольные железистые термы содержат вулканические газы (HCl , HF , SO_2 , NH_3 , HVO_3 , CO_2 , CO , H_2S , H_2 , He и др.) и интенсивно выщелачивают железо из вмещающих вулканогенных пород [10]. Содержание железа в этих термах достигает 1 г/л и более (табл. 3.33).

Мышьяковистые воды. Мышьяковистые (мышьяковые) — воды, содержащие не менее 0,7 мг/дм³ биологически активного мышьяка. По содержанию мышьяка (в мг/л) минеральные воды подразделяют на три группы [8].

Мышьяковистые	0,7—5
Крепкие мышьяковистые	5,0—10
Очень крепкие мышьяковистые	10

Образование мышьяка. Мышьяк — типичный халькофильный элемент, образующий целый ряд соединений с серой.

Среднее содержание мышьяка в горных породах, по А. П. Виноградову, составляет (в $10^{-4}\%$).

Ультраосновные	2,8
Основные	2,0
Средние	2,4
Кислые	1,5
Осадочные	6,6

Среди более чем 140 мышьякосодержащих минералов преобладают сульфиды, сульфоарсенаты, арсенаты и арсениды. Кроме скоплений минералов, мышьяк содержится в породах в виде изоморфных примесей, в сорбированном состоянии и в органических соединениях.

Повышенное содержание мышьяка в глинах (до $1,5 \times 10^{-3}\%$) объясняется хорошей их сорбирующей способностью. Мышьяк в минеральных водах находится в виде мышьяковистой (H_3AsO_3) и мышьяковой (H_3AsO_4) кислот и продуктов их диссоциации ($H_2AsO_3^-$ и $H_2AsO_4^-$). Наиболее характерные формы нахождения мышьяка в углекислых водах — $H_2AsO_4^-$, реже $HAsO_4^{2-}$, а в кислых рудничных водах — H_3AsO_4 и H_2AsO_4 [11].

Катион мышьяка может встречаться только в кислых водах при $pH < 3$.

Химический состав мышьяковистых вод. Среди мышьяковистых вод выделяются: 1) углекислые мышьяковистые воды различного ионного состава и минерализации; 2) кислые «купоросные» воды сульфатного или хлоридно-сульфатного состава, обогащенные мышьяком, железом и другими металлами (Al, Cu, Pb, Zn и др.).

Повышенные содержания мышьяка установлены также в отдельных источниках кремнистых терм, fumarольных терм, бромных и йодобромных вод. Углекислые мышьяковистые воды имеют наибольшее бальнеологическое значение. Они используются для лечения болезней периферической и центральной нервной системы, анемии различного происхождения, заболеваний кожи, сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, гипертироза, нарушения функций яичников, заболевания желудочно-кишечного тракта.

По ионному составу среди них преобладают: гидрокарбонатные различного катионного состава, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые и хлоридные натриевые и кальциево-натриевые. Они содержат большие количества CO_2 , имеют слабокислую реакцию ($pH = 6,0 - 6,5$), характеризуются различной температурой (до $73^\circ C$) и минерализацией до 37 г/л (табл. 3.34).

Характеристика слабоминерализованных железистых вод СССР (по А. П. Карасевой, 1981 г., с дополнениями)

Месторождение	Общая минерализация, г/л	Ионный состав	Содержание Fe, мг/л	pH	Температура, °С	Использование
<i>Ленинградская область</i>						
Полюстрово	0,3	$\frac{\text{HCO}_3}{\text{Ca}} \frac{46}{38} \frac{\text{Cl}}{\text{Fe}} \frac{136}{34} \frac{\text{SO}_4}{20}$	33	6,1	5	Завод розлива
<i>Карелия</i>						
Марциальные воды	0,5	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Mg}} \frac{63}{35} \frac{\text{HCO}_3}{\text{Fe}} \frac{31}{34} \frac{\text{Ca}}{27}$	67	6,5	6	Курорт
<i>Донецкая область</i>						
Славяногорск	0,22	$\frac{\text{SO}_4}{\text{Ca}} \frac{45}{39} \frac{\text{HCO}_3}{\text{Fe}} \frac{40}{31} \frac{\text{Cl}}{\text{Na}} \frac{115}{18}$	23	—	9	Курорт
<i>Курганская область</i>						
Озеро Медвежье	2,0	$\frac{\text{Cl}}{(\text{Na} + \text{K})} \frac{14}{50} \frac{\text{HCO}_3}{\text{Mg}} \frac{32}{33} \frac{\text{SO}_4}{26}$	31	7,8	7	Грязевой курорт с использованием минеральной воды

Бурятия

Красные камни	1,4	$\frac{\text{HCO}_3\text{95}}{(\text{Na} + \text{K})49\text{Ca}32\text{F}_2\text{11}}$	59	—	13	—
---------------	-----	--	----	---	----	---

Читинская область

Маргитайское	0,2	$\frac{\text{HCO}_3\text{96}}{(\text{Na} + \text{K})46\text{F}_2\text{51}}$	40	—	7	—
--------------	-----	---	----	---	---	---

Армения

Голгат	2,3	$\frac{\text{HCO}_3\text{67SO}_4\text{29}}{\text{Ca}46\text{Mg}45}$	35	—	—	—
Техут	1,7	$\frac{\text{HCO}_3\text{83SO}_4\text{15}}{\text{Ca}50\text{Mg}37}$	55	—	10	—
Элегис	0,5	$\frac{\text{HCO}_3\text{,5Cl}37}{(\text{Na} + \text{K})5\text{Ca}42}$	40	—	—	—
Агви-Дзур	4,1	$\frac{\text{HCO}_3\text{80Cl}11}{\text{Ca}44\text{Mg}30}$	193	—	11	—
Байдан	3,7	$\frac{\text{HCO}_3\text{64SO}_4\text{30}}{(\text{Na} + \text{K})51\text{Ca}34}$	36	—	11	—

Казахстан

Джусалинское	1,0	$\frac{\text{SO}_4\text{1Cl}19}{(\text{Na} + \text{K})31\text{Fe}26\text{Ca}29}$	100	4,4	6	Бальнеолечебница
--------------	-----	--	-----	-----	---	------------------

Т а б л и ц а 3.31

Характеристика железистых углекислых вод (по А. П. Карасевой, 1981 г., с изменениями)

Месторождение	Со- дер- жание СО ₂ , г/л	Общая мине- рали- зация, г/л	Ионный состав	Со- дер- жание Fe, мг/л	pH	Тем- пера- тура, °С
<i>Большой Кавказ</i>						
Махарское	2,2	1,8	$\frac{\text{HCO}_3 84 \text{C} 116}{\text{Ca} 55 \text{Na} 25}$	30	6,2	7
Уцера. скв. 12	2,4	12,3	$\frac{\text{HCO}_3 100}{\text{Na} 93 \text{Mg} 7}$	34	6,5	11
Горалы-Кол	1,9	3,2	$\frac{\text{HCO}_3 80 \text{C} 119}{\text{Ca} 40 \text{Na} 38}$	62	6,3	6
Цагвери	2,1	5,2	$\frac{\text{HCO}_3 83 \text{C} 15}{\text{Na} 39 \text{Mg} 32 \text{Ca} 26}$	59	6,8	13
Лабинское	1,8	5,4	$\frac{\text{HCO}_3 78 \text{C} 121}{\text{Na} 58 \text{Ca} 32}$	69	6,6	11
Джелсагатское	2,0	2,8	$\frac{\text{HCO}_3 78 \text{C} 121}{\text{Ca} 42 \text{Na} 31}$	86	6,1	6
<i>Малый Кавказ</i>						
Мартуни	1,1	0,8	$\frac{\text{HCO}_3 27 \text{C} 111}{\text{Mg} 43 \text{Ca} 29 \text{Na} 28}$	50	5,8	9
Личк	1,3	0,9	$\frac{\text{HCO}_3 76 \text{C} 112}{\text{Ca} 56 \text{Mg} 27}$	60	6,2	19
Цахкашен	3,1	3,8	$\frac{\text{HCO}_3 98}{\text{Ca} 60 \text{Mg} 25}$	30	6,3	12
Санаин	1,6	3,0	$\frac{\text{HCO}_3 80 \text{C} 110}{\text{Ca} 47 \text{Mg} 27 \text{Na} 26}$	50	6,2	13
Каджаран	2,3	5,8	$\frac{\text{HCO}_3 37 \text{C} 117}{\text{Mg} 36 \text{Na} 29 \text{Ca} 28}$	100	6,4	6
Нурредин	1,4	3,6	$\frac{\text{HCO}_3 71 \text{SO}_4 23}{\text{Ca} 69 \text{Mg} 27}$	25	—	18
Гри-Дзор	1,8	4,3	$\frac{\text{SO}_4 43 \text{HCO}_3 41}{\text{Ca} 47 \text{Na} 36}$	65	6,2	14
Тту-Джур	2,9	3,8	$\frac{\text{HCO}_3 49 \text{SO}_4 37}{\text{Ca} 43 \text{Na} 42}$	70	5,6	11
Анкаван	2,5	6,6	$\frac{\text{HCO}_3 52 \text{C} 144}{\text{Na} 60 \text{Ca} 24}$	20	6,8	34
Мхчиан	1,1	34,0	$\frac{\text{C} 190 \text{HCO}_3 7}{\text{Na} 91 \text{Ca} 7}$	60	6,4	28

Кавказские минеральные воды

Березовский Нарзан	3,7	3,2	$\frac{\text{HCO}_3\text{61SO}_4\text{26}}{\text{Ca60Mg24}}$	46	—	10
Ессентуки, скв. 49	0,8	8,3	$\frac{\text{HCO}_3\text{59Cl41}}{\text{Na94}}$	24	6,4	48

Закарпатье

Келечин	2,6	2,1	$\frac{\text{HCO}_3\text{99Cl11}}{\text{Ca60Mg28}}$	35	6,8	10
Кобылецкая Поляна	1,4	6,0	$\frac{\text{Cl161HCO}_3\text{39}}{\text{Na83Ca10}}$	26	6,5	12
Вышково, скв. 1-Г	2,6	143,0	$\frac{\text{Cl197HCO}_3\text{2}}{\text{Na91Ca6}}$	37	6,4	28

Тянь-Шань

Чатыр-Куль	2,6	3,2	$\frac{\text{HCO}_3\text{87Cl111}}{\text{Ca49Mg35}}$	35	6,5	3
Яссы	1,2	6,4	$\frac{\text{HCO}_3\text{76Cl24}}{\text{Na72Ca14}}$	31	6,1	8
Яссы	1,2	15,0	$\frac{\text{Cl198}}{\text{Na86Ca8}}$	22	—	10

Памир

Бахтияр	0,9	2,5	$\frac{\text{HCO}_3\text{95}}{\text{Na65Ca25}}$	39	6,6	10
Жунт	1,5	2,6	$\frac{\text{HCO}_3\text{59SO}_4\text{31}}{\text{Ca52Mg25}}$	21	6,0	12

Забайкалье

Шиванда, скв. 10/67	3,2	1,5	$\frac{\text{HCO}_3\text{96}}{\text{Na35Ca35Mg35}}$	28	5,7	2
Кука, скв. 3-Р	3,2	2,8	$\frac{\text{HCO}_3\text{95}}{\text{Ca46Mg42}}$	20	6,2	0,5

Приморье

Алчанское	3,2	0,7	$\frac{\text{HCO}_3\text{100}}{\text{Ca35Mg32}}$	42	5,6	4
Сандагоу	2,7	2,3	$\frac{\text{HCO}_3\text{97}}{\text{Ca77Mg10}}$	23	6,1	7
Шмаковка, скв.	2,6	2,3	$\frac{\text{HCO}_3\text{99}}{\text{Ca58Mg33}}$	32	6,0	8
Нижние Лужки	2,9	2,0	$\frac{\text{HCO}_3\text{99}}{\text{Ca50Na33}}$	52	6,0	6
Малкинское	2,7	3,8	$\frac{\text{Cl163HCO}_3\text{37}}{\text{Na61Ca23}}$	20	6,2	6

Таблица 3.32

Характеристика месторождений кислых железистых вод (по М. Л. Хромовой, 1977 г., с изменениями)

Месторождение	Общая минерализация, г/л	Ионный состав	pH	Микрокомпонент	Содержание микрокомпонента, г/л
<i>Южный Урал</i>					
Блявинское	254	$\frac{SO_4 100}{Fe 40 Al 36 H 21}$	0,5	As	0,283
То же	74	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 99}{Fe 69 Na 14}$	2,8	Fe	12,923
Гайское, горизонт 320	83	$\frac{SO_4 97}{Ca 42 Fe 42 H 12}$	1,9	As	0,151
Дегтярское, шахта Капитальная 2	16	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 96}{Fe 28 Na 23 Al 22}$	3,4	As	0,002
То же	52	$\frac{SO_4 100}{Al 30 Mg 21 Fe 19}$	3,0	Fe Mn Cu Zn	3,775 1,940 2,530 3,185
<i>Большой Кавказ</i>					
Худесское, ист. 7	10	$\frac{SO_4 100}{Fe 78 Na 9 Ca 6}$	2,6	Fe Al Mn Cu Zn	2,016 0,004 0,004 0,220 0,009
Силис-Геле	5,4	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 99}{Fe 55 Ca 18 Al 17}$	2,8	Fe As Al Mn Cu Zn	0,871 0,0006 0,049 0,036 0,002 0,0016
Зуби, ист. 2	6,0	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 99}{Fe 32 Ca 26 Mg 23 H 5}$	2,3	Fe As Al Mn H ₂ SiO ₃	0,676 0,006 0,057 0,013 0,111
Зуби, ист. 1	3,9	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 96}{Mg 33 Fe 29 Ca 26 Al 7}$	2,6	Fe Al Mn Cu Zn	0,414 0,036 0,0017 0,0001 0,0006

<i>Малый Кавказ</i>					
Тбети	8,7	$\frac{SO_4 47}{Fe 41 Na 20 Al 14}$	2,6	Fe	1,353
				Al	0,160
Шамлуг	10	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 97}{Mg 44 Fe 25 Ca 17}$	2,8	Mn	0,002
				Cu	0,050
				H_2SiO_3	0,121
				Fe	0,948
				Al	0,045
				Mn	0,048
Ахтала, штольня 16	9,3	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 99}{Fe 63 Ca 16 Mg 8}$	2,4	Cu	0,300
				Fe	1,650
				As	0,006
				Al	0,040
				Mn	0,003
				Cu	0,080
Тондзут	13	$\frac{SO_4 85 HSO_4 15}{Fe^{3+} 65 Fe^{2+} 14 Hg}$	1	Fe	2,933
				Al	0,030
				Mn	0,004
				Cu	0,030
Кедабек	14	$\frac{(HSO_4 + SO_4) 99}{Ca 45 Fe 21 Na 20}$	2,0	Fe	1,061
				Al	0,840
				Mn	0,020
				Cu	0,080
Чирагидзор, ист. 8	30	$\frac{(HSO_4 + SO_4) 99}{Fe 67 Al 13 Mg 9}$	1,0	Fe	6,216
				Al	0,480
				Mn	0,010
				Cu	0,010
<i>Южный Урал</i>					
Карабаш, шахта Ворошиловского рудника	3,9	$\frac{SO_4 76}{Fe 59 H 19 Al 13}$	0,9	Fe	1,160
				Mn	0,460
				Zn	0,180

Т а б л и ц а 3.33

Характеристика кислых фумарольных железистых терм (по А. П. Карасевой, 1981 г.)

Источник и его местоположение	Содержание Fe, мг/л	Общая минерализация, г/л	Ионный состав	pH	Температура, °C
Кислый Ключ, о. Кунашир	1568	3,9	$\frac{Cl 66 (SO_4 + HSO_4) 34}{Al 27 NH_4 23 Fe 16 Mg 13}$	2,4	58
Верхне-Юрьевский, о. Парамушир	1190	18,0	$\frac{SO_4 47 Cl 43}{H 75 Al 21}$	0,9	95
Нижне-Менделеевский, о. Кунашир	251	4,3	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 55 Cl 45}{H 33 Al 17 Fe 15}$	1,7	91
Узонский, Камчатка	171	1,9	$\frac{SO_4 95}{NH_4 40 H 24}$	2,2	85

Таблица 3.34

Основные группы и типы углекислых мышьяковистых вод (по В. В. Иванову, 1982 г., с изменениями)

Группа вод	Содержание As, мг/л	Характерные типы	Общая минерализация, г/л		Температура, °С	Специфические компоненты (кроме As)	Характерные источники
Гидрокарбонатные различного катионного состава	2—50	Чвижипсинский	2—7	5—20	CO ₂	Чвижипсинские	
Гидрокарбонатно-хлоридные, натриевые, борные, кремнистые	15—60	Синегорский	20—25	8—10	CO ₂ , HBO ₂ , H ₂ SiO ₃ (иногда Вг, I)	Синегорские	
	2—6	Нагаджирский	9—14	15—20	CO ₂ , HBO ₂ , H ₂ SiO ₃	Нагаджирские	
	2—40	Горно-Тисский	5—40	8—71	CO ₂ (иногда HBO ₂ , Fe)	Горно-Тисские, Верхние, Исти-Су	
Хлоридные натриевые и кальциево-натриевые	1—10	Налачевский	4—40	25—73	CO ₂ , HBO ₂ , H ₂ SiO ₃	Налачевские, Верхне-Кармадонские	

Кислые «купоросные» мышьяковистые воды по ионному составу делятся на три типа: 1) высокоминерализованные сульфатные (SO₄ = 90—100%-экв) железисто-алюминиевые; 2) слабой и средней минерализации сложного химического состава; 3) сульфатные, хлоридно-сульфатные, реже хлоридные фумарольные термы со сложным катионным составом.

Первые два типа кислых мышьяковистых вод имеют низкую температуру ($T=2-20^{\circ}\text{C}$) и кислородно-азотный газовый состав с примесью CO₂ химического происхождения.

Фумарольные мышьяковистые термы имеют температуру 50—102 °С. В составе газов преобладают углекислота, сероводород, азот, метан и др.

Кислые мышьяковистые воды могут быть использованы под контролем врачей только при наружном использовании

в случаях заболеваний кожи и опорно-двигательного аппарата, периферической нервной системы, гинекологических заболеваний, раневой поверхности кожного покрова.

Условия формирования и распространения мышьяковистых вод. Углекислые мышьяковистые воды формируются в областях проявленности молодого и современного вулканизма (Карпаты, Кавказ, Сахалин, Камчатка, Курильские острова).

В условиях термо- и динамометаморфизма мышьяк вследствие своей летучести вместе с CO_2 и другими подвижными компонентами (В, S, F и др.) перемещается снизу вверх, в область более низких давлений. Отмечена приуроченность мышьяковистых вод к районам реальгараурипигментовых месторождений. Возможность обогащения мышьяком углекислых вод объясняется также благоприятными условиями его миграции в гидрокарбонатно-хлоридных и хлоридных натриевых водах.

Очень крепкие мышьяковистые воды Синегорска, Дарыдага, Горной Тиссы, формирующиеся в песчано-глинисто-мергелистых толщах, обогащены бромом (до 60 мг/л) и иодом (до 17 мг/л) [11]. Данные по составу углекислых мышьяковистых вод приведены в табл. 3.35.

Кислые «купоросные» мышьяковистые воды формируются в зоне окисления месторождений, содержащих сульфиды мышьяка. Процесс окисления сульфидных руд инфильтрационными водами приводит к образованию резко кислой среды с $\text{pH} < 5$, в которой преобладают сульфаты и целый ряд металлов (As, Fe, Mn, Cu, S и др.). В кислых водах мышьяк имеет наивысшую валентность (As^{5+}) и находится в форме мышьяковой кислоты (H_3AsO_4), вследствие чего эти воды иногда называют «мышьяковыми» [11]. Обогащение мышьяком и другими металлами фумарольных терм происходит за счет глубинных вулканических эксгаляций и процессов выщелачивания кислыми парогидротермами.

Данные по составу кислых мышьяковистых вод, включая фумарольные, приведены в табл. 3.36.

Борные воды. К борным относятся минеральные воды, содержащие не менее $35,0 \text{ мг/дм}^3$ ортоборной кислоты H_3BO_3 (по ГОСТ 13273-88). Бор — необходимый компонент обменных реакций в живом организме. Он имеет ярко выраженное биологическое, фармакологическое и токсическое действия, обладает антимикробными свойствами и способствует лечению кожных заболеваний. Однако потребление с водой больших концентраций бора (до 3 г/сут) может вызвать заболевания желудочно-кишечного тракта и легких.

Т а б л и ц а 3.35

Характеристика углекислых мышьяковистых вод (по А. П. Карасевой, 1981 г., с изменениями)

Месторождение	Общая минерализация, г/л	Ионный состав	Содержание микрокомпонентов, г/л		рН	Температура, °С
			As	CO ₂		
Чвижипсе	3,0	$\frac{\text{HCO}_3\text{92Cl17}}{\text{Ca62Na28}}$	0,004	2,5	6,2	16
Грушевая Поляна	3,3	$\frac{\text{HCO}_3\text{87Cl11}}{\text{Na59Ca27}}$	0,014	1,8	6,3	10
Ацетукское	3,4	$\frac{\text{HCO}_3\text{75SO}_4\text{17}}{\text{Ca38Na32Mg26}}$	0,049	1,7	6,0	6
Авадхара	6,5	$\frac{\text{HCO}_3\text{99}}{\text{Na85Ca7}}$	0,001	1,3	6,6	15
Джермук	4,8	$\frac{\text{HCO}_3\text{58SO}_4\text{25}}{\text{Na76Ca15}}$	0,001	0,5	6,95	56
Оксинское	3,0	$\frac{\text{HCO}_3\text{53SO}_4\text{33}}{\text{Na88Ca6}}$	0,001	0,2	6,9	55
Дарыдагское, скв. 7/64	22,0	$\frac{\text{Cl64HCO}_3\text{28}}{\text{Na92Ca5}}$	0,028	0,8	6,6	39
Синегорское, скв. 18	25,0	$\frac{\text{Cl54HCO}_3\text{46}}{\text{Na89Mg5}}$	0,060	2,3	6,5	9
Горная Тисса, скв. П-К	37,0	$\frac{\text{Cl75HCO}_3\text{21}}{\text{Na91Ca4}}$	0,040	1,9	6,35	10
Говерла	23,7	$\frac{\text{Cl66HCO}_3\text{34}}{\text{Na95}}$	0,006	2,2	6,8	7
Нагаджир	9,0	$\frac{\text{Cl49HCO}_3\text{44}}{\text{Na89Ca7}}$	0,006	1,1	6,75	19
Накалакеви, скв. 9	10,0	$\frac{\text{HCO}_3\text{61Cl32}}{\text{Na80Ca12}}$	0,0015	0,6	6,7	43
Вардзия, скв. 22	12,5	$\frac{\text{HCO}_3\text{49Cl40}}{\text{Na95}}$	0,0012	0,6	6,95	45
Теплинское	2,2	$\frac{\text{Cl57HCO}_3\text{42}}{\text{Na62Cl17}}$	0,0035	2,2	5,8	35
Исти-Су	7,3	$\frac{\text{HCO}_3\text{51Cl33}}{\text{Na93Ca5}}$	0,0015	0,6	7,3	71
Налачевское, скв. 1	4,4	$\frac{\text{Cl73HCO}_3\text{16}}{\text{Na76Ca20}}$	0,010	0,3	6,7	73
Двин, скв. 2	36,0	$\frac{\text{Cl96}}{\text{Na96}}$	0,003	—	7,9	25
Верхний Кармадон, ист. 3	8,6	$\frac{\text{Cl85HCO}_3\text{12}}{\text{Na85Ca15}}$	0,001	1,8	—	53

Т а б л и ц а 3.36

Характеристика кислых мышьяковистых вод (по А. П. Карасевой, 1981 г., с изменениями)

Месторождение	Общая минерализация, г/л	Ионный состав	Содержание As, г/л	pH	Температура, °С
Блявинское, горизонт 253	254	$\frac{SO_4 100}{Fe 40 Al 36 H 21}$	0,238	0,5	—
То же	3,9	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 96}{Mg 33 Fe 29 Al 17 H 5}$	0,011	2,6	19
Карабахское	39	$\frac{SO_4 76}{Fe 51 H 19 Al 13}$	0,120	0,9	—
Гайское, горизонт 320	83	$\frac{SO_4 97}{Ca 42 Fe 42 H 12}$	0,151	1,9	11
Дегтярское, шахта Капитальная 2	16	$\frac{(SO_4 + HSO_4) 96}{Fe 28 Na 23 Al 22 Mg 13}$	0,002	3,4	—
Качканарское, штольня	0,9	$\frac{Cl 40 HCO_3 31 SO_4 29}{Na 40 Mg 30 Ca 28}$	0,0018	5,0	—
Восточно-Коунрадское, шахта 7, горизонт 290	5,3	$\frac{Cl 150 SO_4 47}{Na 64 Ca 25}$	0,0015	7,1	15
Хову-Аксинское, штольня	1,1	$\frac{SO_4 67 HCO_3 30}{Ca 54 Mg 34}$	0,002	7,0	2
Верхне-Семячинское	1,4	$\frac{SO_4 99}{Al 43 Ca 39 Mg 14}$	0,0008	3,5	96
Нижне-Менделеевское	4,3	$\frac{(SO_4 + HSO_3) 55 Cl 145}{H 33 Al 17 Fe 15}$	0,0009	1,7	91
Узонское	2,2	$\frac{Cl 193 SO_4 5}{Na 95}$	0,0018	5,1	54

Образование бора. Бор относится к числу рассеянных элементов. Осадочные породы, особенно морские, богаче бором, чем магматические породы. Средние содержания бора (в %) в различных типах пород составляют: ультраосновные породы — $4 \cdot 10^{-3}$; основные породы — $1 \cdot 10^{-3}$; кислые породы — $1,5 \cdot 10^{-3}$, осадочные породы — $1,2 \cdot 10^{-2}$.

Обычные соединения бора — соли борной кислоты образуют ряд борных минералов. Среди минералов бора выделяются группы: 1) боросиликатов и алюмоборосиликатов; 2) боратов. Из минералов первой группы наиболее важен да-толит, а наиболее распространен турмалин. Во второй группе минералов хорошо известны природная бура и борная кислота.

В качестве борного сырья используются не только твердые полезные ископаемые, но и борсодержащие горячие источники, а также рапа отдельных соляных озер.

Основные формы миграции бора в подземных водах — ортоборная H_3BO_3 и тетраборная $H_2B_4O_7$ кислоты. В слабокислых, нейтральных и щелочных условиях ортоборная кислота практически не диссоциирует. Заметное влияние диссоциированных ионов этой кислоты сказывается при pH 8,5.

Устойчивая форма миграции тетраборной кислоты в подземных водах — ион $H_2B_4O_7^-$. В щелочных средах с pH 9, кроме ионов ортоборной и тетраборной кислот, мигрируют ионы метаборной HBO_2 кислоты.

В минеральных водах, содержащих бор в количествах менее 0,12 г/л, в кислых, слабокислых и нейтральных средах весь бор находится в форме недиссоциированной ортоборной кислоты. При повышении концентрации бора до 0,74 г/л в кислых и слабокислых средах наряду с ортоборной присутствует тетраборная кислота, роль ионов которой возрастает в слабощелочной среде при pH 7,5—9,5. При концентрации бора 1,55 г/л H_3BO_3 в нейтральной и слабощелочной средах преобладают ионы тетраборной кислоты. Соотношения массовых концентраций различных соединений бора даны в работе И. Ю. Соколова (1984 г.).

Для приведения содержаний бора в минеральных водах к единой форме, следует принимать коэффициенты:

$$\frac{B}{H_3BO_3} = \frac{1}{5,72}; \quad \frac{HBO_2}{H_3BO_3} = \frac{1}{1,41}.$$

Химический состав борных вод. Среди минеральных питьевых лечебных и лечебно-столовых вод по химическому составу выделяют шесть основных групп борных вод.

1. Гидрокарбонатные натриевые (Поляна Квасова, Нелепинская, Плосковская, Уцера, Бжни, Авадхара).

2. Гидрокарбонатные кальциево-натриевые (Сахалинская, скв. 6-А-бис).

3. Хлоридно-гидрокарбонатные гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (Лазаревская; Драговская; Анкаван; Важас-Цкаро, скв. 10; Зарамаг; Семигорская № 6; Верхний Исти-Су; Вардзия, скв. 1, 2К).

4. Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (Нижний Кармадон, скв. 29-Р).

5. Хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые (Эльбрус, Малкинская).

6. Хлоридные натриевые (Урс-Дон, Анивская № 1).

Среди высокоминерализованных вод и рассолов известны отдельные источники или скважины с весьма высокими концентрациями бора. Например, минеральная вода Двин, скв. № 7 гидрокарбонатно-хлоридного натриевого состава с минерализацией 35 г/л содержит 2430 мг/л HBO_2 [31]. Обогащены бором (до 3—6 г/л) хлоридные натриевые и натриево-кальциевые рассольные воды, связанные с наличием крупных залежей поваренной и калийной солей. Такие минеральные воды известны в Закавказье, Средней Азии, Восточной Сибири.

Пестрый химический состав имеют борные воды Курило-Камчатской области. Среди них выделяют сульфатные сложного катионного состава, хлоридно-сульфатные и хлоридные натриевые фумарольные термы с минерализацией до 60 г/л и содержанием H_3BO_3 до 405 мг/л.

Условия формирования и распространения борных вод. Борные воды наиболее широко распространены в районах развития месторождений борного сырья. В пределах страны выделяют два борных пояса: Широтный или Южный и Тихоокеанский. Южный бороносный пояс включает: Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг и Южный Памир. Тихоокеанский пояс в пределах СССР объединяет: Восточное Забайкалье, Приамурье, Приморье, Чукотку, Сахалин и Камчатку. Среди месторождений борного сырья различают: гипогенные, вулканогенно-осадочные, осадочные (галогенные), борные термы (фумаролы) и рапу соляных озер.

Гипогенные месторождения бора тяготеют к северной зоне Южного бороносного пояса, а вулканогенно-осадочные — к южной его зоне. Галогенные месторождения бора известны в Прикаспийской синеклизе.

Во внутренней зоне Тихоокеанского пояса (Сихотэ-Алинь) широко распространены гипогенные датолитовые месторождения бора. Обогащены бором фумарольные, углекислые и азотные термы Курило-Камчатской области.

В пределах Карпат установлены три пояса проявлений борных вод: 1) Северный (источники Соль, Келечин, Soyмы, Квасы, Говерла и др.), связанный с зоной центральнокарпатских разломов; 2) Центральный (источники Перечин, Поляна, Свалява, Пасека, Драгово, Кобылецкая Поляна, Рахов и др.), связанный с Закарпатским разломом;

3) Южный (источники Ужгород, Берегово, Шаян, Вышково, Буштыка), связанный с Припаннонским разломом [4].

Среди углекислых борных вод Карпат выделены пять групп месторождений: бассейна р. Уж; Свалянская; Сой-

минская; Драговская; Горно-Тисская. Кроме того, выделяют группу азотно-метановых вод Закарпатского прогиба.

Большинство источников с высокими содержаниями бора (до 1000 мг/л) приурочено к Северному и Центральному поясам. В пределах поясов углекислых борных вод увеличение содержаний бора происходит с северо-запада на юго-восток. Наибольшие концентрации H_3BO_3 (до 2 г/л) установлены в верхнемеловом водоносном комплексе. Среди химических типов минеральных вод наименьшие количества бора отмечены в гидрокарбонатных кальциевых или натриевых водах. В хлоридно-гидрокарбонатных натриевых и особенно хлоридных натриевых водах установлены самые высокие содержания бора ($n \cdot 100$ мг/л).

Характеристики отдельных групп борных вод Карпат приведены в табл. 3.37.

Основные проявления борных вод в Крыму отмечены в пределах Керченского и Тарханкутского районов. Среди химических типов борных вод преобладают гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией 5—15 г/л, содержащие H_3BO_3 до 1400 мг/л (месторождения Приозерное, Куйбышевское, Вулкановское, Горностаевское и др.).

Максимальные концентрации H_3BO_3 (до 7000 мг/л) отмечены в углекислых гидрокарбонатно-хлоридных натриевых водах Керченского района (месторождения Тарханское, Султановское, Каяры-Сарт, Сейт-Эли). Кроме того, установлены многочисленные источники борных вод хлоридного натриевого и кальциево-натриевого состава. Содержание бора в них составляет 140—1400 мг/л H_3BO_3 , при минерализации вод и рассолов от 5 до 150 г/л (месторождения Джанкойское, Черноморское, Евпаторийское, Планерское, Краснополянское и др.).

Большая часть месторождений борных вод Кавказа приурочена к структурам малого Кавказа, Центрального Кавказа и Предкавказья. На Малом Кавказе выделяют два пояса углекислых борных вод: Анкавано-Сюникский и Приараксинский.

Формирование борных вод первого пояса обусловлено главным образом эндогенными, а второго — экзогенными процессами [31].

Высокоборные воды Приараксинского пояса связаны с процессами выщелачивания бора из соленосных терригенно-карбонатных пород верхнего мела — нижнего палеогена в зоне Ереванского глубинного разлома. В пределах Анкавано-Сюникского пояса установлена генетическая связь между молодым магматизмом и бороносностью вод. Для миграции

Основные гидрохимические типы борных вод Карпат (по К. П. Сафроновой и Н. Г. Петровой, с изменениями)

Группа вод	Ионный состав вод	Общая минерализация, г/л	Содержание ZnO_3 , мг/л	pH	Температура, °С	Характерные месторождения
1. Углекислые	Гидрокарбонатные	4,2—11,2	80—450	6,6—6,8	11—15	Полянское, Пложое, Голубинское, Нелепино, Сзаява
	Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые	20—30 3,2—37,5	780—1250 70—140	6,4—6,9 5,6—8,2	12—28 7—30	Пасака, Драчино Софмы, Соль, Быстрое, Кобылецкая Поляна
2. Метановые и азотно-метановые	Хлоридные натриевые	4,6—14,2	140—700	6,2—8,0	8—15	Дубриничи, Ужгород, Заричево, Рахов, Драгово
			700—1400 10:0	—	10—15 12—15	Дубровиць, Долгое Квасы Раховские
	Хлоридные натриевые	5—15 15—35	<140	7,5—7,8	6—7	Уть Чорна
			140—700 700—1400	5—6,8 5—6,8	6—7 6—7	Вышково, Вучково, Майдан, Соль
3. Азотные и углекисло-азотные	Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые	35—350	70—140	7,0—8,1	26—45	Бегань, Иршава, Малая Росток
			140—700	7,5	10—20	Ноголек
			140—700 70—140	7,5—7,8 7,3—7,5	20—40 8—10	Рудки, Залужье Рассольная Техуча, Добровляны
Хлоридные натриевые	5—15	140—700	5,8—7,0	8—12	Грепенос, Залуж, Ольховцы	
		140—700	7,5—7,8	8—10	Лигча	
		15—35	140—700	7,3—7,9	10—35	Чот

Т а б л и ц а 3.38

О. новые гидрохимические типы борных вод Кавказа (по Н. Г. Петровой, С. Л. Шварцеву и др., 1980 г., с изменениями)

Группа вод	Ионный состав вод	Общая мч-верализация, г/л	Содержание H_2CO_3 , мг/л	pH	Температура, °С	Характерные месторождения
1. Углекислые	Гидрокарбонатные натриевые	5—10	1450	6,5—7,0	8—15	Уцэра
	Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые	14—22	550—1200	6,5—7,0	12—40	Дардаг, скв. 7/64; Орбатех, скв. 201
	Хлоридные натриевые	25—37	<3мг/л	6,5—6,7	15—46	Мхчан, скв. 11; Азатаван
2. Метановые и азотно-метановые	Гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые	5—18	70—1800	7,5—8,8	35—72	Семигорье, скв. 6—87; Шихэво, скв. 1334; Сура-ханы, скв. 819; Ахтырка, скв. 12
3. Азотные и углекисло-азотные	Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые	3—10	150—300	6,5—7,5	12—44	Кармадот, скв. 28-э, 29-э; Зарамаг, скв. 3

бора наиболее благоприятны хлоридные натриевые и гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды высокой минерализации.

Характеристика отдельных представителей борных вод Кавказа приведена в табл. 3.38.

Углекислые борные мышьяковистые воды гидрокарбонатно-хлоридного натриевого состава, с минерализацией 20—25 г/л и содержанием HBO_2 до 2000 мг/л представлены Синегорским месторождением на Сахалине. Месторождение приурочено к Тынь-Поронайской зоне разлома на стыке Западно-Сахалинского антиклинория и Сусунайской депрессии.

Углекислые борные воды вскрыты скважинами глубиной до 280 м в вертикально залегающих пластах песчаников и аргиллитов полиоцена. Эти воды установлены также в зоне Западно-Сахалинского разлома (ист. Волчанские). Содержание бора (HBO_2) в источниках достигает 400 мг/л. Основные источники бора в термах и fumarолах Курило-Камчатской области — вулканические эксгалации.

В fumarолах и термах содержание H_3BO_3 достигает 150—450 мг/л. Максимальные концентрации бора отмечены в хлоридно-гидрокарбонатных и хлоридных натриевых термах (источники Центральный Узон, Шапинские, Паужетские, Малкинские, Налачевские и др.).

3.8. Лечебные воды без «специфических» компонентов и свойств

Бальнеологические свойства этих вод определяются их основным ионным составом и общей минерализацией. Минеральные воды этой группы холодные и термальные (табл. 3.39). Общая минерализация вод и рассолов составляет 1—350 г/л и более. Они имеют большое практическое значение и широко используются в качестве питьевых лечебных и лечебно-столовых вод (ГОСТ 13273-88), а также для наружного применения [18].

Химический состав лечебных вод. Минеральные воды без «специфических» компонентов и свойств имеют различный химический состав. Среди них преобладают хлоридные и сульфатные натриевые и кальциево-натриевые воды. Основные представители минеральных вод этой группы приведены в классификации В. В. Иванова и Г. А. Невраева (табл. 3.40).

Условия формирования и распространения лечебных вод. Эта группа лечебных минеральных вод наиболее широко

Т а б л и ц а 3.39

Температура хлоридных вод и рассолов (по Г. А. Титовой и В. Н. Фомичевой, 1980 г.)

Артезианский бассейн	Местонахождение источника	Водовмещающие породы и их возраст	Глубина вскрытия вод, м	Температура, °С
Прибалтийский	г. Москва	Известняки, мергели ϵ_2 —O	540—561	22
Московский	г. Москва	Известняки, доломиты D ₂	1138—1170	29
Волго-Камский	с. Байтуган	Известняки, доломиты C ₁	1230—1235	30
Прикаспийский	г. Гурьев	Известняки, доломиты P ₁	1500	65
Терско-Кумский	с. Воронежское	Известняки K ₂	1911—2062	75
Азово-Кубанский	с. Коноково	Песчаники, глины K ₁	1170—1190	65
Причерноморский	г. Евпатория	Песчаники, глины K ₁	745—867	40
Предкарпатский	с. Грановка	Известняки J ₃	1730—1830	48
Ангаро-Ленский	с. Еловская	Соленосные доломиты ϵ_1	1265—1280	20
То же	с. Туруки	Доломиты, известняки ϵ_1	918—968	13
Якутский	г. Усть-Вилюйск	Песчаники, алевролиты T—J ₂	2241—2063	58
То же	с. Бахынай	Песчаники, аргиллиты J ₂	2248—2258	47
Амударьинский	с. Акчакая	Пески, песчаники K ₂	660	43
Сырдарьинский	г. Ташкент	Пески K ₂	1617	70
Ферганский	с. Гуртепе	Песчаники, глины P	2546—2702	77

Т а б л и ц а 3.40

Основные классы и подклассы минеральных вод без «специфических» компонентов и свойств (по В. В. Иванову и Г. А. Невраеву, 1964 г., с изменениями)

Класс вод (по анионному составу)	Подкласс вод (по катионному составу)	Общая минерализация вод, г/л	Наименование типа воды по ГОСТ 13273-88
I. HCO ₃	1. Ca	1—5	—
	2. Ca—Mg	1—5	—
	3. Ca—Mg—Na	1—5	—
	4. Ca—Na	1—5	—
	5. Mg—Na	1—5; 5—15	—
	6. Na	1—5; 5—15	Майкопский
II. HCO ₃ —SO ₄	1. Ca	1—5	—
	2. Ca—Mg	1—5	—

Продолжение табл. 3.40

Класс вод (по анионному составу)	Подкласс вод (по катионному составу)	Общая минерализация вод, г/л	Наименование типа воды по ГОСТ 13273-88
III. SO ₄	3. Ca—Mg—Na	1—5	Кишиневский
	4. Ca—Na	1—5	—
	5. Mg—Na	1—5	—
	6. Na	1—5	—
	1. Ca	1—5	Краинский
	2. Ca—Mg	1—5	Звенигородский
IV. SO ₄ —Cl	3. Ca—Mg—Na	1—5	Московский
	4. Ca—Na	1—5	—
	5. Mg—Na	1—5	Баталинский
	6. Na	1—5	Искараено
	1. Na	1—5; 5—15; 15—35	Феодосийский
	2. Na—Ca	1—5; 5—15; 15—35	Угличский
V. Cl—SO ₄ —HCO ₃	3. Na—Ca—Mg	1—5	Ижевский
	4. Na—Mg	15—35	Лысогорский
	1. Na	1—5; 5—15	Махачкалинский
	2. Na—Ca	1—5; 5—15	—
VI. Cl—HCO ₃	3. Na—Ca—Mg	1—5; 5—15	Луганский
	1. Na	1—5; 5—15; 15—35	Обуховский
	2. Na—Ca	1—5; 5—15; 15—35	—
VII. Cl	3. Na—Ca—Mg	1—5; 5—15	—
	1. Na	1—5; 5—15; 15—35	Миргородский
	2. Na—Ca	1—5; 5—15; 15—35	Друскининкай
VIII. Рассольные (Cl)	3. Na—Ca—Mg	1—5; 5—15	—
	1. Na	35—150; 150—350	Усольский
	2. Na—Ca (Na—Mg)	35—150; 150—400	Чартакский
	3. Na—Ca—Mg	35—150; 150—500	—
	4. Ca—Mg	35—150; 150—550	—
	6. Ca	35—150; 150—650	—

развита в артезианских бассейнах. Азотные воды данной группы распространены в зоне свободного водообмена, а метановые — в зоне затрудненного водообмена. По генезису они преимущественно атмосферные инфильтрационные воды выщелачивания и седиментационные воды морских бассейнов (табл. 3.41). В ионном составе этих вод преобладают: SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺ и Ca²⁺, обусловленные процессами растворения,

Т а б л и ц а 3.41

Генетические типы минеральных вод без «специфических» компонен

Класс вод	Геолого-структурные условия распространения	Гидродинамические и гидрохимические условия
Сульфатные, различного катионного состава с M 2—10 г/л	Осадочный чехол платформ и межгорных впадин, загипсованность пород при их неглубоком залегании	Верхняя гидродинамическая зона (ниже пресных вод) свободного водообмена на глубине от 10 до 300—500 м. Зона окисления
Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные, иногда гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые и сложного катионного состава с M 2—15, иногда до 35 г/л	Те же условия. В породах кроме гипса содержится небольшое количество каменной соли	Та же зона, более замедленный водообмен (ниже сульфатных вод, в южных регионах — ниже пресных вод) на глубине до 1000 м
Хлоридные натриевые воды и рассолы с M 2—350 г/л (в зонах разломов иногда сложного катионного состава)	Те же условия. В породах содержится галит в рассеянном состоянии	Зоны замедленного и весьма замедленного водообмена на глубинах до 300 м

выщелачивания, смешения, катионного обмена и другими процессами формирования химического состава минеральных вод (термодиффузия, конвекция, сорбция, радиолиз и др.).

Сульфатные минеральные воды распространены в пределах Восточно-Европейской и Сибирской платформ, в Северодвинском, Прибалтийском, Московском, Волго-Камском и Ангаро-Ленском бассейнах. Кроме того, они известны в Предкарпатском артезианском бассейне, Молдавии, Казахстане и Средней Азии [14].

Химический состав этих вод обусловлен гипсоносностью пород или наличием в них сульфидов.

Сульфатные воды характерны для карбонатных толщ палеозойского возраста, а также для угленосно-терригенных пиритсодержащих отложений юрского и каменноугольного возраста. Наиболее загипсованы известняки и доломиты фаменского яруса девона, уфимского и татарского ярусов перми Восточно-Европейской платформы. Основные разновидности сульфатных минеральных вод следующие: Краин-

Процессы формирования	Влияние литологии галогенных толщ на минерализацию и катионный состав вод	Районы наиболее широкого распространения
Выщелачивание и катионный обмен	В карбонатных породах — преимущественно кальциевые, в доломитах — магниево-кальциевые воды с <i>M</i> до 3 г/л, в терригенных породах — натриево-кальциевые и натриевые с <i>M</i> 2—10 г/л	Русская платформа, южная часть Сибирской платформы, Казахстан, Средняя Азия (локально)
Выщелачивание, континентальное засоление в южных районах (смешение вод в зонах разломов)	В глинистых породах — преимущественно натриевые воды с <i>M</i> 10 г/л, в карбонатных породах кальциево-натриевые и другие воды с <i>M</i> 2—6 г/л	Русская платформа, Казахстан, Средняя Азия
Выщелачивание, континентальное засоление, смешение вод	В залежах галита и соляных куполах — хлоридные натриевые воды с <i>M</i> до 350 г/л	Русская и Сибирская платформы, Тургайский и Амударьинский бассейны

ская, Хиловская, Московская, Звенигородская, Дороховская, Монинская, Баталинская, Таураге, Ашхабадская, Шаамбары и др.

Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные воды формируются в более глубоких горизонтах артезианских бассейнов европейской части СССР, Казахстана, Средней Азии и Восточной Сибири. Они развиты в менее активных по водообмену зонах в терригенно-карбонатных и карбонатных гипсоносных и соленосных толщах. Эти воды получили наибольшее развитие в пределах Московского, Северо-Двинского, Прибалтийского, Причерноморского, Прикаспийского, Тургайского, Чу-Сарысуйского, Сырдарьинского, Амударьинского, Южно-Мангышлакского, Иртышского и Ангаро-Ленского артезианских бассейнов.

Воды данного типа используются в качестве питьевых лечебных на многих курортах и в санаториях: Моршин, Липецк, Сольвычегодск, Кашин, Серегово, Солигалич, Ижевск, Махачкала, Аяк-Калкан, Чартак, Желалабад, Шаамбары и др.

Характеристика хлоридных натриевых рассолов СССР (по Е. А. Титовой и В. Н. Фомичевой, 1980 г., с изменениями)

Артезианский бассейн	Месторождение, водопункт	Возраст пород	Глубина опробования, м	Максимальная минерализация, г/л
Прибалтийский	Даугавпилс	C ₂ -O	535—576	130
То же	Уймерче	O-S	408—803	115
Северо-Двинский	Боровское	C ₁	830	254
Мусовский	Серпухов	D ₂	1080	174
Волго-Камский	Сель-Илецк	P ₁	—	350
Прикаспийский	Марианский Посад	C ₂	1003—1007	265
	Анютинск	P ₁	1348—1366	320
	Шубардук	P ₂	1541—1546	262
	Иунгий	T ₁	2682—2688	304
Днепровско-Донецкий	Ксбищевское	D ₃	1599—2004	311
	Калайданское	D ₃	2867—2897	238
Припятский	Ельское, скв. 4-р	D ₃	1768—1771	289
	Ельское, скв. 19-р	D ₃	2485—2498	315
Прикарпатский	Моршин	N	20—30	310
Ангаро-Ленский	Балыста, скв. 2-р	C ₁	1209—1230	337
	То же	C ₁	1494—1507	356
	Боханско?	C ₁	1607—1625	316
Тунгусский	Тунгусский, скв. 1-К	P ₁	180—192	174
Якутский	Русское	C ₁	575—585	255
	Кемпедий	D	—	317
	Усть-Виллюйск, скв. P-3	T-J ₂	2049—1063	89
Хаганский	Нордик, скв. 3к	J	50	369
	То же	C ₁	1666—1669	307
Амударьинский	Керки-Даг	K ₂	916—1016	168

Характеристика хлоридных натриевых вод и рассолов Московского бассейна (по Е. А. Титовой и В. Н. Фомичевой, 1980 г., с изменениями)

Местонахождение источника	Литология и возраст пород	Глубина опробования, м	Общая минерализация, г/л	Содержание, %-экв				
				Cl	SO ₄	Na	Ca	Mg
г. Старая Русса	Песчаники D ₂	110—120	20	91	8	69	21	—
г. Кашан	Известняки C ₂	302—384	28	81	19	76	—	13
г. Калуга	Песчаники C ₁	871—887	28	86	13	82	13	—
г. Воронежск	Алевриты, песчаники D ₂	870—875	25	84	16	78	16	—
г. Рязск	Известняки, гипсы D ₃	581—591	35	91	9	71	17	—
г. Тула	Песчаники D ₃	702—754	26	88	11	75	15	—
с. Петелино	Песчаники D ₂	652—711	18	85	14	70	14	—
г. Серпухов	То же	836—840	32	90	10	71	19	10
с. Бобринково	»	903—939	20	84	16	71	18	—
с. Ложино	»	304—373	56	98	—	81	18	—
г. Иваново	Известняки D—P ₁	240—529	102	96	4	82	9	—
г. Воронежск	Песчаники C ₁	973—978	50	95	5	80	13	—
с. Пржевальское	Алевриты PR ₃	850—985	141	98	2	88	8	—
г. Смоленск	Граниты А, песчаники C ₁	942—1239	108	98	2	83	10	—
с. Долохово	Песчаники D ₂	709—821	72	95	4	75	17	—
Москва, скв. Боевская	Известняк*, доломиты D ₂	1138—1170	259	99	—	85	9	—
с. Перхушково	Песчаники D ₃	870—946	106	97	2	75	16	—
г. Загорск	Песчаники D ₂₋₃	1096—1230	159	98	1	74	16	—
г. Моршанск	Известняки, доломиты D ₃	304—454	88	96	4	79	—	14
г. Боронск	Песчаники D ₂	841—843	91	97	3	92	7	—
г. Серпухов	Алевриты*, аргиллиты D ₂	1073—1080	174	97	3	91	6	—
То же	Песчаники C ₁	1283—1286	174	98	2	81	12	7

Таблица 3.44

Характеристика хлоридных натриевых вод и рассолов Ангаро-Ленского бассейна (по Е. А. Титовой и В. Н. Фомичевой, 1980 г., с изменениями)

Местонахождение источника (скважины)	Глубина опробования, м	Общая минерализация, г/л	Содержание, %-экв				
			Cl	SO ₄	Na	Ca	Mg
<i>Кембрийский надсоленосный комплекс</i>							
с. Мальба	317	14	81	18	80	13	7
г. Новое Усолъе	35—37	26	93	7	84	12	—
с. Житалово	360	22	96	—	93	5	—
г. Половина	395—155	21	84	15	81	12	—
с. Ключевское	—	11	81	17	84	10	6
с. Туманшет	31	55	97	3	94	4	—
с. Тополовое	395—455	29	92	8	84	11	5
г. Иркутск	664	47	89	11	88	7	4
д. Большеразводнинская	1216	63	89	10	91	7	—
г. Усть-Кут	103—550	75	91	9	89	7	—
с. Гашинское	82—200	81	95	—	94	—	—
д. Казаринская	302—405	116	93	7	92	4	—
г. Новое Усолъе	500	133	95	—	94	3	—
с. Паново	110—167	101	92	7	92	—	—
д. Булайская	450—550	134	96	—	96	—	—
с. Туруки	918—968	182	98	—	96	—	—
с. Малая Ерма	830—837	194	97	3	95	4	—
с. Марково	1900—2164	274	97	3	99	3	—
с. Жигалово	754—776	276	100	—	97	—	—
	2036	290	98	—	97	—	—
г. Усолъе	1250	315	95	—	95	—	—
д. Боханская	1607—1625	316	99	—	98	—	—
д. Осинская	1635—1645	314	99	—	99	—	—
с. Балыхта	1209—1230	337	98	—	90	10	—
	1494—1507	351	100	—	96	—	—

Кембрийский подсоленосный комплекс

д. Осинская	2390—2396	122	99	—	96	—	—
д. Тыреть	2162—2167	321	99	—	93	—	—
д. Еловская	1265—1280	133	96	—	94	5	—

Гидрокарбонатно-хлоридные воды формируются в пределах угленосных и нефтегазоносных областей в связи с биохимическими процессами и содообразованием. В областях молодого и современного вулканизма эти воды часто являются углекислыми. Рассматриваемый тип вод отмечен в Причерноморском, Терско-Кумском, Западно-Сибирском артезианских бассейнах, а также в Донбассе, Кузбассе и

Воркутинском угленосном бассейне. Эти воды используются как питьевые лечебные на курортах и в санаториях: Битков, Саки, Горячий Ключ, Зеленоград, Воркута, Борисоглебск и др. [27].

Хлоридные воды и рассолы, в связи с хорошей растворимостью соединений хлора, распространены весьма широко в осадочных толщах европейской части СССР, Казахстана, Средней Азии и Восточной Сибири. Они встречаются также в кристаллических и метаморфических породах грабенообразных прогибов Балтийского, Украинского и Воронежского щитов и массивов. Крепкие рассолы хлоридного натриевого и кальциево-натриевого состава, имеющие седиментационный генезис, часто обогащены бромом, иодом, стронцием и другими биологически активными компонентами. Поэтому в настоящем разделе они не рассматриваются.

Среди хлоридных высокоминерализованных вод и рассолов без «специфических» компонентов и свойств преобладают воды и рассолы выщелачивания. Они развиты в солеродных бассейнах с галогенными породами и имеют инфльтрационный генезис. По катионному составу воды натриевые с минерализацией до 350 г/л. Они используются как питьевые лечебные и для наружного применения. Из них наиболее известны минеральные воды: Миргородская, Куяльник № 6, Вярска № 2, Минская, Друскининкайская, Нижне-Сергинская, Нальчикская, Ангарская и др. Характеристика хлоридных натриевых рассолов приведена в табл. 3.42, 3.43 и 3.44.

Гидрогеологическое районирование представляет собой научную основу прогнозной оценки минеральных вод и обоснования перспектив их хозяйственного использования. Опирающееся на результаты комплексного анализа геологического строения, историю развития и физико-географические условия регионов, гидрогеохимическую и гидродинамическую зональности, районирование отражает основные региональные закономерности формирования и распространения минеральных вод.

Гидрогеологическому районированию с выделением на территории СССР провинций и областей минеральных вод различного газового и химического состава посвящены работы А. И. Дзенс-Литовского, Н. И. Толстихина, А. М. Овчинникова, В. В. Иванова, Л. А. Яроцкого, Г. С. Вартаняна, И. Я. Пантелеева, В. И. Кононова, Г. Буачидзе и других ученых.

Под гидрохимической провинцией А. И. Дзенс-Литовский и Н. И. Толстихин понимали территорию, в пределах которой развиты определенные группы минеральных вод. А. М. Овчинников указывал, что каждая из гидрохимических провинций характеризуется особыми геологическими условиями и обладает группой вод, связанных общностью отдельных признаков. Под провинцией минеральных вод Г. С. Вартанян предложил понимать пространственно протяженную часть земной коры, характеризующуюся единством геологического развития, в пределах которой в водоносных горизонтах или локализованных зонах распространены близкие по генезису минеральные воды.

Н. И. Толстихин выделил 3 провинции минеральных вод: щелочноземельных гидрокарбонатных вод, газирующих углекислым газом, в пределах альпийской складчатой зоны; натриевых термальных вод, газирующих азотом или метаном, поднимающихся из недр по глубоким водоносным трещинам; вод высокой минерализации, слабо газирующих азотом или метаном в осадочном комплексе платформенных отложений.

Позднее В. В. Ивановым, А. М. Овчинниковым и Л. А. Яроцким при более детальном изучении минеральных вод было выделено 5 провинций: 1) сероводородно-углекислых, углекислых и азотно-углекислых терм областей современного вулканизма; 2) углекислых вод областей молодой магматической деятельности; 3) азотных щелочных терм

областей новейших тектонических движений; 4) азотных, азотно-метановых и метановых вод артезианских бассейнов платформ, краевых прогибов и складчатых областей; 5) холодных кислородно-азотных (и азотных) радоновых обычно слабоминерализованных вод массивов кислых кристаллических пород. По их определению каждая провинция характеризуется сходными по химическому составу и гидрохимическим условиям формирования группами минеральных вод.

Г. С. Вартамян и Л. А. Яроцкий выделили гидротермальные области и основные группы минеральных вод.

Изучение условий формирования минеральных вод и закономерностей их распространения базируется на идеях о единстве водных масс земной коры, определяющемся сложными системами взаимодействия вода — порода — газ — живое вещество.

Открытый В. В. Докучаевым закон естественно-исторической зональности позволил на основе анализа особенностей геологического строения и физико-географических условий раскрыть проявление различных видов зональности в гидрогеологии. Этими вопросами занимались М. Е. Альтовский, Н. К. Игнатович, В. С. Ильин, И. К. Зайцев, Г. Н. Каменский, Ф. А. Макаренко, Н. А. Маринов, С. И. Смирнов, В. А. Сулин, Н. И. Толстихин, К. В. Филатов, А. В. Щербаков и другие ученые.

4.1. Принципы районирования

Выделение провинций минеральных вод на основе существующих в природе гидрогеохимической, гидрогеодинамической и гидрогеотермической зональностей, обусловленных геологическим строением и физико-географическими условиями, является единственно правильным. Газовый, ионно-солевой и микробиологический составы подземных вод отражают проявление геологических и физико-географических факторов, формирующих определенные физико-химические и термодинамические обстановки в подземной гидросфере.

Следует отметить, что анализ даже только главных отличительных особенностей геологического строения, выполненный Н. И. Толстихиным, А. М. Овчинниковым, В. В. Ивановым, Г. С. Вартамян и другими учеными, дал возможность выявить ряд очень важных гидрогеологических закономерностей и объяснить многие вопросы формирования минеральных вод. Однако нельзя полагать, что в пределах

артезианских бассейнов платформ, краевых прогибов и складчатых областей (4-я провинция, по В. В. Иванову, А. М. Овчинникову и Л. А. Яроцкому) с их весьма сложным и разнообразным строением распространены только азотные, азотно-метановые и метановые воды строго определенного состава, или в пределах всей обширной, с разнообразными особенностями геологического строения области альпийской складчатости (2-я провинция) будут иметь место исключительно однообразные условия формирования углекислых минеральных вод.

По мере накопления знаний о геологическом строении территории СССР, дальнейшего развития представлений о гидрогеохимических и термодинамических обстановках и разнообразных процессах, протекающих в подземной гидросфере, последующие схемы районирования минеральных вод базировались на более детальном анализе геологических и физико-географических особенностей крупных геологических структур. При выделении провинций, областей и районов минеральных вод исходили из того, что любой участок земной коры характеризуется присущей ему историей геотектонического развития. При этом резких границ между областями, районами обычно не наблюдается, а происходит переход одних обстановок в другие. Складчатая структура переходит в платформу, образуя промежуточную зону, имеющую признаки складчатых и платформенных сооружений. Поэтому границы геологических структур, а следовательно, и гидрогеологических провинций, в определенной мере могут иметь условный характер.

На необходимость тщательного геолого-структурного анализа при изучении закономерностей формирования подземных вод указывают многие исследователи. Наиболее ярко это было показано в докладе А. М. Овчинникова на I-м Всесоюзном гидрогеологическом съезде, который состоялся в 1931 г. в г. Ленинграде.

Многочисленными исследователями установлено, что в различных геологических и физико-географических условиях формируются разнообразные по составу подземные минеральные воды. Геолого-структурная обстановка, литолого-фациальный состав пород, история геологического развития и физико-географические условия — основные факторы развития физико-химических и термодинамических процессов в подземной гидросфере, как на стадии современного формирования подземных вод, так и в предшествующие периоды геологической истории.

Анализ истории геологического развития любого района

весьма сложен в связи с тем, что движения альпийского цикла складчатости изменяют структурные формы, образованные на более ранних (кимерийской, герцинской и каледонской) стадиях. Там, где располагаются горно-складчатые сооружения альпийского цикла, существовали складчатые зоны более древних тектонических циклов. По характеру развития тектоно-магматических процессов в литосфере выделяют геосинклинальные области, где отмечаются большие градиенты колебательных движений и интенсивный магматизм, и платформенные области с малыми градиентами и относительно слабым магматизмом. Каждый из геоструктурных типов отличается специфическими чертами развития и своеобразным составом пород.

Магматические процессы требуют участия в системах воды, углекислоты, галогенных соединений и некоторых других летучих компонентов. Различные газы и прежде всего вода, как компоненты сложного флюида при метаморфизации горных пород оказывают большое влияние на развитие процессов гидратации-дегидратации, карбонатизации-декарбонатизации, окисления-восстановления. На реакциях гидратации-дегидратации, как известно, проводится выделение фаций метаморфизма. Повышение температуры при метаморфизме приводит к развитию прогрессивного удаления воды из структуры кристаллической фазы. Наряду с водой главным компонентом метаморфизирующего флюида является углекислота. Реакции, связанные с ее выделением или поглощением, определяют развитие процессов минералообразования и формирование химического и газового состава минеральных вод.

История геологического развития земной коры характеризуется определенными эпохами массовых и частичных тектоно-магматических активизаций, с которыми связано поступление огромных масс эффузивного материала и формирование гидросферы. Обширные территории платформенных областей в отличие от орогенов и геосинклиналей характеризуются в своем геологическом развитии незначительным опусканием и соответственно менее интенсивным тектоническим преобразованием во времени. Однако и платформенные области при общности многих главных геологоструктурных черт имеют между собой значительные различия. Так, среди древних платформ Сибирская отличается от Восточно-Европейской прежде всего тем, что один из этапов ее развития совпал с таким периодом геологической истории Земли, когда во многих ее частях происходили массивные излияния базальтов.

В соответствии с общим признанием идеи В. И. Вернадского о том, что подземные воды представляют собой полезное ископаемое, а минеральные воды обладают этим качеством в еще большей степени, гидрогеологическое районирование и типизация месторождений минеральных вод согласуются с общепринятыми понятиями о металлогенических провинциях, областях, районах и месторождениях полезных ископаемых.

Опыт изучения месторождений полезных ископаемых позволил Н. М. Губкину, Ю. В. Билибину, С. С. Смирнову и другим геологам выделить конкретные эпохи рудообразования и провинции размещения полезных ископаемых.

Металлогеническое районирование территории страны по рудным провинциям проводилось по принципу оконтуривания площадей развития месторождений определенной эпохи. При этом минеральные воды рассматривались вместе с другими типами месторождений полезных ископаемых как гидроминеральные месторождения. На территории СССР выделены альпийские (Карпаты, Кавказ, Копетдаг, Памир), киммерийская (Забайкальско-Приморская), герцинские (Урал, Казахстан, Средняя Азия и др.), каледонская (Саяны) и рифей-архейские (Восточно-Европейская и Сибирская платформы) металлогенические провинции [25].

Каждая провинция отличается присущими ей особенностями геологического развития, металлогении, формирования и распространения минеральных вод. Так, провинции древних платформ характеризуются наличием месторождений железных руд и радиоактивных элементов в породах фундамента. Следовательно, в этих провинциях при благоприятных гидрогеохимических условиях могут формироваться месторождения железистых и радоновых вод. В платформенном чехле на площади развития гипсоносных и нефтегазоносных отложений при сульфатредукции углеводородов формируются сероводородные воды. В глубоких водоносных горизонтах развиты высокоминерализованные воды и рассолы хлоридного натриевого и кальциево-натриевого состава, местами обогащенные бромом, йодом и бором.

Молодые платформенные области отличаются большей степенью промытости осадочных пород чехла, что связано с интенсивными вертикальными движениями геоструктур в кайнозой. Процессы тектоно-магматической активизации, развившиеся в мезозой-кайнозой, обусловили формирование нескольких типов минеральных вод. Среди них особую бальнеологическую ценность имеют кремнистые термы и углекислые воды. В отдельных впадинах молодых платформ,

отличающихся развитием угленосных, соленосных, нефтегазоносных отложений развиты борные, йодобромные, а местами сероводородные и радоновые воды.

Провинции древних складчатых поясов относительно бедны минеральными водами. Исключение составляют лишь области, где проявились процессы мезозой-кайнозойской тектоно-магматической активизации (Тянь-Шань, Саяны, Забайкалье и др.). В этих областях распространены кремнистые термы и углекислые воды. На отдельных участках древних складчатых областей с проявленной рудной минерализацией формируются радоновые, железистые и мышьяковистые воды. В межгорных впадинах с соленосными и нефтегазоносными отложениями встречаются сероводородные, йодо-бромные и борные воды.

Провинции молодых складчатых поясов с интенсивно проявившимися тектоническими движениями и магматизмом альпийского возраста отличаются наибольшим разнообразием минеральных вод. С участками развития термометаморфических и поствулканических процессов связаны месторождения углекислых термальных и холодных вод, а с зонами разломов глубокого заложения — кремнистых терм. На участках проявления рудной минерализации формируются мышьяковистые, борные, железистые, а иногда радоновые воды. Сероводородные воды встречаются в периферийных частях межгорных впадин и краевых прогибов, отличающихся нефтегазоносностью.

Основными процессами формирования сернисто-углекислых (фумарольных) и сероводородно-углекислых (сульфатарных) терм Курило-Камчатской области современного вулканизма являются вулканические эксгаляции. Кремнистые термы и углекислые воды образуются здесь путем термометаморфизма. Кроме того, в этой области за счет окисления сульфидов и процессов выщелачивания формируются железистые и борные воды.

4.2. Понятия о провинции, области и районе минеральных вод

Провинция представляет собой крупный участок земной коры, характеризующийся единством геологического развития, относящийся к платформе или к складчатому поясу со свойственными им группами месторождений минеральных вод различного состава и происхождения.

Область занимает часть провинции и характеризуется набором месторождений минеральных вод определен-

ного состава и происхождения. В геологическом отношении область минеральных вод представляет собой синеклизы и антекклизы, щиты и массивы, внутренние и внешние зоны геосинклиналей, зоны тектоно-магматической активизации и рифтообразования.

Район занимает часть области и характеризуется местным сосредоточением месторождений минеральных вод. Районы минеральных вод располагаются в пределах локальных геологических структур (антиклиналь, синклиналь, межгорная впадина, прогиб и др.).

В связи с этим выделение провинций минеральных вод предлагается проводить на основе учета особенностей строения крупных геотектонических структур, истории их геологического развития, петролого-геохимических и гидрогеохимических условий. В платформенных областях выделяют провинции минеральных вод древних и молодых платформ; в складчатых областях — провинции минеральных вод древних и молодых складчатых областей.

4.3. Схемы районирования

На основании общих закономерностей формирования и распространения минеральных вод различного газового и химического составов, обусловленных особенностями геологического строения и историей геологического развития отдельных регионов, на территории СССР выделяется 9 провинций минеральных вод (табл. 4.1, рис. 4.1).

В пределах провинций находятся области, отличающиеся по характеру геотектонической активности в мезозой-кайнозое, развитию молодого или современного вулканизма, проявленности тектоно-магматических процессов, литолого-фациальным особенностям и гидрогеологическим условиям. Выделение областей минеральных вод требует более детальной оценки особенностей геологического строения и физико-географических условий.

Т а б л и ц а 4.1

Провинции минеральных вод (по Г. В. Куликову, В. Б. Адилову, А. В. Жевакову, 1985 г.)

Провинции древних платформ (A — PR)	Провинции молодых платформ (PZ — MZ)	Провинции древних складчатых поясов (PZ — MZ)	Провинции молодых складчатых поясов (MZ — KZ)
<p>I. Восточно-Европейская провинция сульфатных и хлоридных, йодобромных, сероводородных и радоновых минеральных вод и рассолов</p> <p>II. Сибирская провинция сульфатных и хлоридных йодобромных, борных, сероводородных и радоновых минеральных вод и рассолов с углекислыми водами и кремнистыми термами в областях тектоно-магматической активизации</p>	<p>III. Большеземельская провинция сульфатных и хлоридных, йодобромных и сероводородных минеральных вод</p> <p>IV. Западно-Сибирская провинция гидротермально-сульфатно-хлоридных, йодобромных минеральных вод и углекислых терм</p> <p>V. Скифо-Туранская провинция сульфатных и хлоридных, йодобромных, борных, сероводородных и радоновых минеральных вод и кремнистых терм</p>	<p>VI. Урало-Монгольская провинция радоновых и железистых минеральных вод с кремнистыми термами и углекислыми водами в областях тектоно-магматической активизации и хлоридными, сероводородными, йодобромными водами в межгорных впадинах и прогибах IX. Гнзookeанская провинция углекислых, сероводородно-углекислых мышьяковидных, железистых минеральных вод и кремнистых терм</p>	<p>VIII. Альпийская провинция углекислых мышьяковидных, железистых минеральных вод и кремнистых терм с хлоридными, сероводородными и йодобромными водами в межгорных впадинах и прогибах IX. Гнзookeанская провинция углекислых, сероводородно-углекислых мышьяковидных, железистых минеральных вод и кремнистых терм</p>

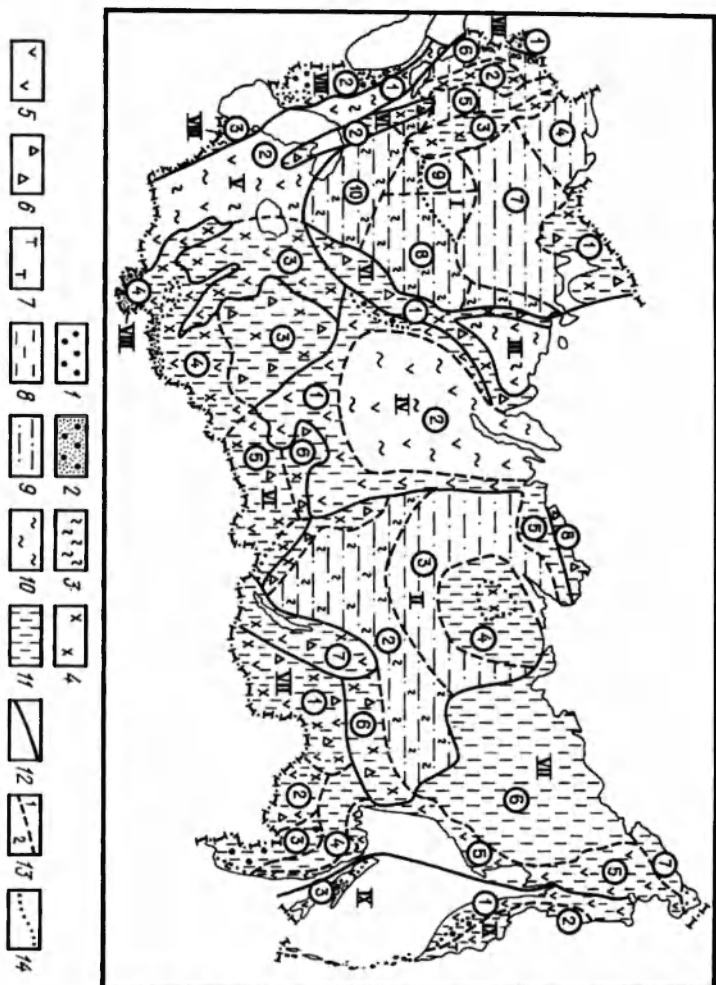


Рис. 4.1. Схема районирования минеральных вод СССР.

1—IX — провинции минеральных вод (из фрыч кружкач — облачты): 1 — Роточно-Европейская (1 — Балтийская, 2 — Украинская, 3 — Врон-жко-Белоруская, 4 — Прибалтийская, 5 — Днепр-дн-ко-Донецкая, 6 — Причерноморско-Днепровская, 7 — Месовско-Свердловская, 8 — Волго-Уральская, 9 — Рязано-Саратовская, 10 — Прикаспийская); II — Сибирская (1 — Енисейская, 2 — Ленско-Восточно-Саянская, 3 — Тунгусская, 4 — Анабарская, 5 — Южно-Таймырская, 6 — Алданская); III — Большая-земельская; IV — Западно-Сибирская (1 — Приенисейско-Иртышская, 2 — Обско-Тазовская); V — Сурфско-Туранская (1 — Скифская, 2 — Южно-Туранская, 3 — Северо-Туранская); VI — Урало-Монгольская (1 — Урало-Тиманская, 2 — Донско-Мангыльская, 3 — Казанская, 4 — Тянь-Шаньская, 5 — Алтайская, 6 — Кокшетауская, 7 — Байкальская, 8 — Саяно-Таймырская); VII — Монголо-Оростская (1 — Забайкальская, 2 — Бузунская, 3 — Уссурийская, 4 — Схотэ-Алиньская, 5 — Приморско-Хотинская, 6 — Везюно-Кольская, 7 — Тукотская); VIII — Аляпийская (Средиземноморская) (1 — Каряско-Камчатская, 2 — Курило-Камчатская, 3 — Сахалинская); IX — провинция минеральных вод (из фрыч кружкач — облачты): 1 — углекислые; 2 — углекислые безные; 3 — сероводородные; 4 — радоновые; 5 — кремнистые термы; 6 — железистые и купоэстые; 7 — фумарольные; 8 — радиоидные натриевые; 9 — бромные; 10 — иодные и иодобромные хлоридные натриевые; 11 — различные химического состава и минерализации; 12 — провинций; 13 — областей; 14 — распространения различных типов минеральных вод.

5.1. Восточно-Европейская провинция

Основные геолого-структурные элементы провинции определяются положением поверхности кристаллического фундамента Восточно-Европейской (Русской) платформы. В северо-западной и юго-западной ее частях фундамент выходит на поверхность, образуя крупные структуры: Балтийский и Украинский щиты. Области неглубокого залегания фундамента — Воронежский и Белорусский массивы. Балтийский щит имеет четко выраженные границы. На протяжении длительной истории геологического развития он испытывал устойчивое поднятие. В его пределах эрозией вскрыты глубокие части гранито-гнейсового слоя. Украинский щит характеризуется блоковым строением: с севера его фундамент обрывается системой разломов в сторону Припятско-Днепровско-Донецкого прогиба, а к югу ступенчато погружается под чехол Причерноморской впадины.

Областям глубокого прогибания фундамента соответствуют крупные синеклизы: Московская, Балтийская, Причерноморская, Прикаспийская и прогибы — Припятско-Днепровско-Донецкий, Пачелмский, Предуральский. Чехол Восточно-Европейской платформы на большей ее части представлен полого или горизонтально залегающими толщами неметаморфизованных или слабометаморфизованных пород верхнего протерозоя-кайнозоя. В его строении выделяется 5 структурно-формационных комплексов с определенными площадями распространения и особенностями литолого-фациального состава отложений: рифейский, вендско-кембрийский, нижнепалеозойский, средне-верхнепалеозойский и мезозойско-кайнозойский [30].

История геологического развития платформы характеризуется тремя главнейшими этапами формирования ее структурного плана. В ее покрове выделяют: авлакогенный, калюмогенный и эмерсионный структурные комплексы. В геологическом строении платформы наблюдается неоднородность отдельных областей. Это связано с неодинаковым развитием тектонических процессов в различных регионах, а следовательно и неодинаковыми процессами седиментации, что привело к пространственной неоднородности геологического строения [19].

Условия формирования и распространения подземных вод (в том числе и минеральных) являются производными от генезиса и условий залегания пород различного вещественного состава и истории геологического развития отдельных районов [6]. Гидрогеологические исследования минеральных вод как полезного ископаемого требуют анализа и оценки геолого-структурной, формационно-литологической и петролого-геохимической обстановок и истории геологического развития региона. Возрастная закономерность обусловлена направлением эволюции земной коры: увеличением ее мощности, уменьшением значения регионального метаморфизма, изменением процессов седиментации, развитием органического мира и его ролью в образовании горных пород, месторождений полезных ископаемых, в том числе и минеральных вод. Установлено, что месторождения угля в Восточно-Европейской провинции появляются в девоне и максимальное его накопление относится к верхнему палеозою. Скопления нефти и газа формируются с конца протерозоя и в дальнейшем их запасы увеличиваются. Месторождения железа характерны для раннего протерозоя. Поэтому формирование минеральных вод — железистых, мышьяковистых, иодобромных, сероводородных, радоновых, фтор- и борсодержащих и других тесно связано с эволюцией земной коры, т. е. историей геологического развития региона. Дифференциация гидрогеологических условий происходит не только под воздействием перестройки структурного плана Восточно-Европейской платформы, но и определяется всем ходом ее эволюции.

Области минеральных вод в пределах Восточно-Европейской провинции выделены по структурному плану, сформированному в авлакогенную и калюмогенную стадии. Заключительная эмерсионная стадия выразилась лишь в определенном усложнении ранее сформированных структур и слабо отразилась в дальнейшей дифференциации гидрогеологических условий. На основе анализа геолого-структурных, формационно-литологических, петролого-геохимических условий и истории геологического развития в Восточно-Европейской провинции выделены следующие области минеральных вод: 1 — Балтийская, 2 — Украинская, 3 — Воронежско-Белорусская (в пределах щитов и массивов), 4 — Прибалтийская, 5 — Днепровско-Донецкая, 6 — Причерноморско-Днестровская, 7 — Московско-Северодвинская, 8 — Волго-Уральская, 9 — Рязано-Саратовская и 10 — Прикаспийская (в пределах впадин и прогибов) (рис. 5.1).

Балтийская область радоновых и железистых минеральных вод располагается в пределах выхода на поверхность

фундамента платформы в северо-западной ее части. На северо-западе область граничит с надвинутыми складчатыми структурами каледонид Скандинавии; к югу и юго-востоку они ограничиваются ступенчатым погружением фундамента под рифейско-кайнозойский чехол Русской плиты (рис. 5.2). В Балтийской области выделяются: I — Кольско-Беломорский; II — Карельский районы железистых и радоновых минеральных вод, развитых в зонах разломов массивов кристаллических пород и делювиально-пролювиальных отложениях покровного чехла. Радоновые и железистые воды слабо минерализованы, гидрокарбонатного или гидрокарбонатно-сульфатного состава, холодные. Наиболее перспективные участки развития железистых вод — площади распространения сульфидов железа, меди и других металлов; для радоновых вод — поля развития пегматитовых тел, микроклиновых гранитов, углеродистых сланцев, конгломератов и торфяников, обогащенных радиоактивными элементами. Месторождения радоновых и железистых вод относятся к

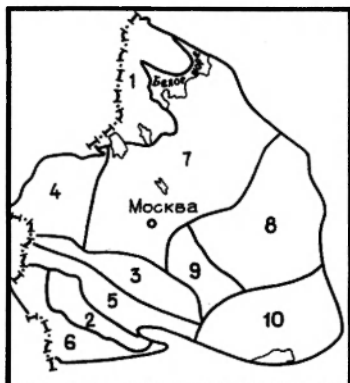
Т а б л и ц а 5.1

Железистые и радоновые минеральные воды Балтийской области

Площадь	Типы	Основные водоносные горизонты, комплексы и их геолого-литологическая характеристика
<i>I. Кольско-Беломорский район</i>		
1. Мурманско-Беломорская	Железистые, радоновые	Кора выветривания и зоны разломов массивов кристаллических пород архей-протерозоя
2. Печенгско-Варзугская	Купоросные, железистые	Кора выветривания и зоны разломов массивов пород сульфидно-медно-никелевой рифтогенной формации протерозой-палеозоя
3. Кандалакшская	Радоновые	Зоны разломов в пределах пегматитовых тел протерозоя
<i>II. Карельский район</i>		
4. Северо-Карельская	Радоновые, железистые	Кора выветривания и зоны разломов массивов кристаллических пород архей-протерозоя
5. Ладожская	То же	То же
6. Центрально-Карельская	Железистые, купоросные, радоновые	Кора выветривания и зоны разломов, массивов пород сульфидно-медно-никелевой рифтогенной формации протерозой-палеозоя

Рис. 5.1. Восточно-Европейская провинция минеральных вод.

Области: 1 — Балтийская — железистых и радоновых вод; 2 — Украинская радоновых вод; 3 — Воронежско-Белорусская радоновых вод; 4 — Прибалтийская сульфатных и хлоридных бромных вод; 5 — Причерноморско-Днепровская сульфатных, хлоридных иодобромных, сероводородных вод; 6 — Днепровско-Донецкая хлоридных бромных с локальными участками сероводородных, слаборадоновых и кремнистых вод; 7 — Московско-Северодвинская сульфатных, хлоридных, бромных вод; 8 — Волго-Уральская сероводородных, иодобромных, радоновых, сульфатных и хлоридных вод; 9 — Рязано-Саратовская сульфатных, хлоридных, бромных и сероводородных вод; 10 — Прикаспийская сульфатных и хлоридных, иодобромных с локальным распространением сероводородных и радоновых вод



(по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1986 г.)

физико-химическая характеристика			Основные месторождения и источники
Основной химический состав, минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
$\text{HCO}_3\text{—Ca—Na}$; <0,2; 5,5—6,5	Fe (<40); Rn (<1500)	<5	Ревда
$\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Na}$, $\text{SO}_4\text{—Na}$; <3,5; 3,5—5,5	Fe (20—100)	<5	Отдельные источники
$\text{HCO}_3\text{—Ca—Na}$; <0,5; <6,5	Rn (<1500)	<5	Отдельные источники
$\text{HCO}_3\text{—Ca—Na}$; <0,5; <6,5	Rn (<7400); Fe (<40)	<10	Песчаное
$\text{HCO}_3\text{—Ca—Na}$; <0,5; <6,5	Rn (<7400); Fe (<40)	<10	Халунвара
$\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Na}$, $\text{SO}_4\text{—Na}$; <1,0; 3,5—6,5	Fe (20—100); Fe (>100); Rn (<7400)	<10	Марциальные воды, Карташа, Костомукша

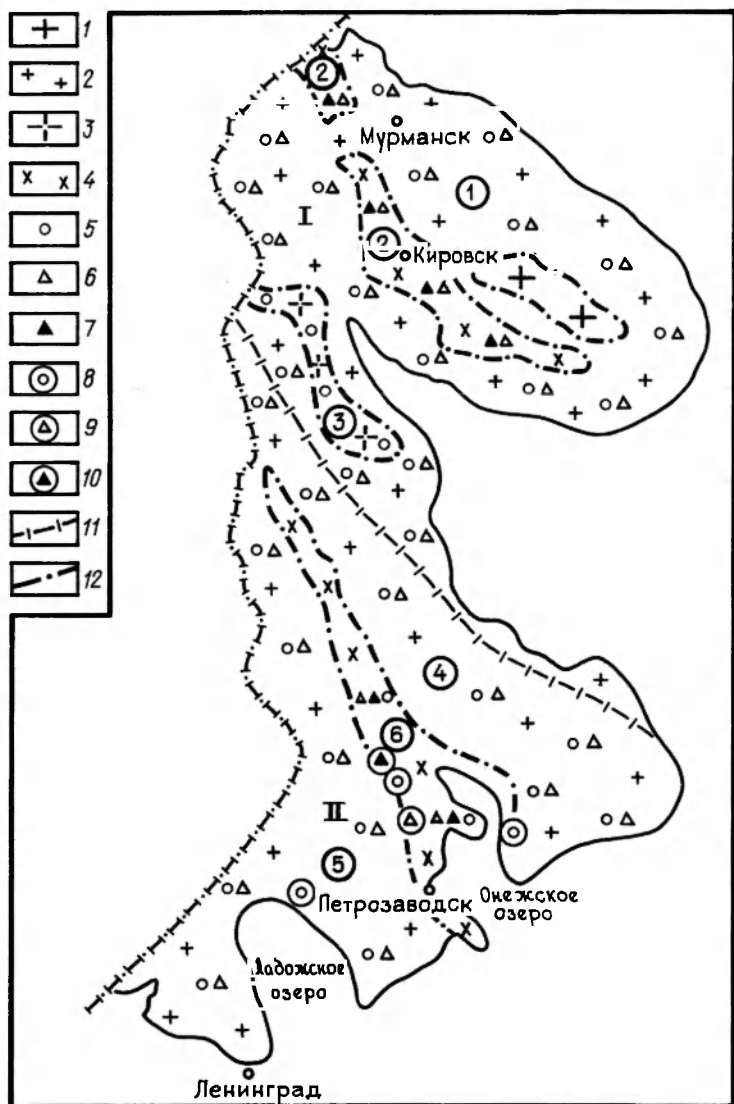


Рис. 5.2. Балтийская область радоновых и железистых минеральных вод.

Районы: I — Кольско-Беломорский; II — Карельский.

Площади распространения минеральных вод (цифры в кружках): 1 — Мурманско-Беломорская; 2 — Печенго-Варзугская; 3 — Кандалакшская; 4 — Северо-Карельская; 5 — Ладожская; 6 — Центрально-Карельская.

типу трещинно-жильных и пластово-трещинных вод кристаллических щитов и массивов, а также к типу порово-пластовых и трещинно-пластовых вод покровных отложений и торфяников на кристаллических щитах. Характеристика минеральных вод приведена в табл. 5.1.

Украинская область радоновых минеральных вод расположена в пределах крупного горста кристаллического фундамента Русской платформы в юго-западной ее части. На севере и северо-востоке системой разломов она отделяется от Припятско-Днепровско-Донецкой впадины, а на юге и юго-западе от Причерноморско-Днестровской впадины. Зоны глубинных разломов разделяют Украинский щит на крупные блоки. По структурно-геологическому строению, характеру развития формаций, петролого-геохимическим особенностям, условиям формирования и распространения минеральных вод в Украинской области выделяют: I — Житомирско-Кировоградский и II — Приднепровский районы минеральных вод (рис. 5.3).

В геологическом строении кристаллического фундамента Балтийской и Украинской областей отмечаются существенные различия, которые проявляются в том, что железорудные скопления в Украинской области приурочены в основном к узким линейным синклинорным зонам (Криворожско-Кременчугская и Орехово-Павлоградская), а на Балтийском щите — имеют площадное распространение. Отмечаются различия и в рудной минерализации, образовавшейся в процессе верхнепротерозойской активизации. Если для Балтийской области характерно развитие сульфидно-медно-никелевого оруденения базальтовой рифтогенной формации, то в пределах Украинской области широко проявились процессы щелочного метасоматоза с интенсивным привносом радиоактивных элементов.

В зонах избыточного увлажнения (Балтийская область) в грунтовых водах преобладает кислая реакция среды, которая наряду с большим количеством органических кислот благоприятна для растворения и миграции окисного железа. В зоне недостаточного увлажнения (Украинская область), вследствие преобладания щелочной среды, железо, марганец и алюминий не мигрируют. Этим объясняется отсутствие железистых минеральных вод в Украинской области.

Горные породы и их возраста: 1 — гранулиты и гранито-гнейсы архея; 2 — граниты, гнейсы, амфиболиты архей-протерозоя; 3 — граниты и пегматиты архей-протерозоя. Типы минеральных вод: 5 — радоновые; 6 — железистые; 7 — купоросные. Месторождения минеральных вод: 8 — радоновые (Песчаное, Хапунвара, Карташи); 9 — железистых (Марциальные воды); 10 — купоросных (Костомукша). Границы: 11 — района; 12 — площади

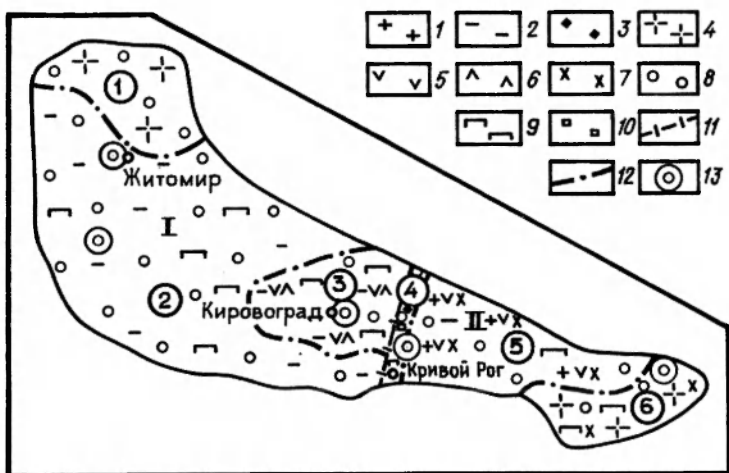


Рис. 5.3. Украинская область радоновых минеральных вод.

Районы: 1 — Житомирско-Кировоградский; II — Приднепровский.

Площади распространения минеральных вод (цифры в кружках): 1 — Коростеньская; 2 — Житомирско-Первомайская; 3 — Кировоградская; 4 — Криворожско-Кременчугская; 5 — Днепропетровско-Запорожская; 6 — Призавская.

Горные породы и их возраст: 1 — граниты и гранито-гнейсы архея; 2 — граниты и гранито-гнейсы архея с участками развития метасоматоза; 3 — конгломераты и породы железорудной формации архей-протерозоя; 4 — гранито-гнейсы, граниты и пегматиты архей-протерозоя; 5 — бурогольные отложения палеогена во впадинах и кора выветривания кристаллических пород; 6 — пески бучакского яруса; 7 — песчано-глинистые отложения кайнозоя. Типы минеральных вод: 8 — радоновые; 9 — сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные; 10 — высокоминерализованные воды и рассолы. Границы: 11 — района; 12 — площади; 13 — месторождения радоновых вод (Житомирское, Ново-Хмельник, Кировоградское, Криворожское, Велико-Анадольское)

Украинская область представляет собой самый крупный район Советского Союза с региональным развитием радоновых минеральных вод. По условиям циркуляции и локализации наибольший интерес для практического использования представляют трещинно-жильные воды зон разломов кристаллических пород на участках проявленных процессов щелочного метасоматоза (табл. 5.2). На Криворожско-Кременчугской площади практическое значение имеют пластово-трещинные воды древних конгломератов.

Воронежско-Белорусская область радоновых минеральных вод расположена в пределах крупного горстового поднятия фундамента платформы, вытянутого в субширотном направлении. Системой крупноамплитудных разломов она отделяется на юге от Днепровско-Донецкой впадины. Граница области

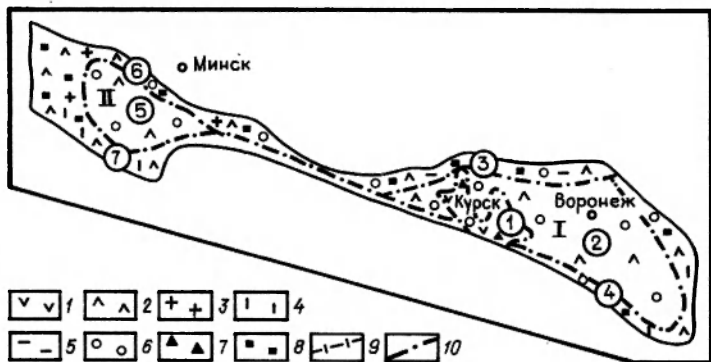


Рис. 5.4. Воронежско-Белорусская область радоновых минеральных вод.

Районы: I — Воронежский; II — Белорусский. Площади распространения минеральных вод (цифры в кружках): 1 — КМА; 2 — Центрально-Воронежская; 3 — Северо-Воронежская; 4 — Южно-Воронежская; 5 — Центрально-Белорусская; 6 — Северо-Белорусская; 7 — Южно-Белорусская. Горные породы и их возраст: 1 — конгломераты и породы железорудной формации архей-протерозоя; 2 — гранито-гнейсы, граниты и пегматиты архей-протерозоя; 3 — песчаники, сланцы палеозоя; 4 — песчаники, известняки и доломиты девона и карбона; 5 — известняки, доломиты и песчаники девона. Типы минеральных вод: 6 — радоновые; 7 — высокоминерализованные хлоридные; 8 — сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные. Границы: 9 — района; 10 — площади

на севере и северо-востоке проходит по ступенчатому погружению фундамента в сторону Московской синеклизы и Пачелмского авлакогена, на северо-западе — к Балтийской синеклизы и Латвийской седловине.

В Воронежско-Белорусской области выделяют: 1) Воронежский район радоновых и сульфатно-хлоридных минеральных вод; 2) Белорусский район радоновых, хлоридных и сульфатно-хлоридных минеральных вод (рис. 5.4).

В отличие от Украинской радоновые воды Воронежско-Белорусской области развиты лишь в водоносном комплексе фундамента, так как в отложениях чехла осадочных пород нет угленосных образований, способных концентрировать радиоактивные элементы. Характеристика минеральных вод приведена в табл. 5.3. Радоновые воды Воронежско-Белорусской области имеют локальное распространение. Это объясняется тем, что процессы щелочного метасоматоза проявились здесь слабо и лишь на отдельных ограниченных участках. Наиболее перспективны площади для поисков радоновых вод — Центрально-Белорусская, Центрально-Воронежская и КМА.

Т а б л и ц а 5.2

Радоновые минеральные воды Украинской области (по Г. В. Кули

Площадь	Тип	Основные водоносные горизонты, комплексы и их геолого-литологическая характеристика
<i>1. Житомирско-Киро</i>		
1. Коростеньская	Радоновые	Кора выветривания и зоны разломов в кварцитах, массивах микроклиновых гранитов и пегматитов протерозоя
2. Житомирско-Первомайская	То же	1. Зоны разломов в массивах гранитов и гранито-гнейсов архея на участках развития процессов щелочного метасоматоза 2. Зоны разломов в массивах гранитов и гранито-гнейсов архея с проявлением восстановительных процессов, приведших к осаждению радиоактивных элементов
	Радоновые, углекислые	3. Зоны разломов в массивах гранитов и гранито-гнейсов архея с ксенолитами карбонатных пород и слабым проявлением щелочного метасоматоза
	Сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные	4. Кора выветривания кристаллических пород, песчаники, известняки неоген-палеогеновых отложений
3. Кировоградская	Радоновые	1. Зоны разломов в массивах гранитов и гранито-гнейсов архей-протерозоя на участках развития процессов щелочного метасоматоза 2. Зоны разломов в массивах гранитов и гранито-гнейсов архей-протерозоя с проявлением восстановительных процессов, приведших к осаждению радиоактивных элементов 3. Кора выветривания кристаллических пород архея и бурогольных отложений палеогена во впадинах

кову, А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Температура, °С	
<i>воградский район</i>			
HCO ₃ —Ca—Mg; <0,5; 6,8—7,2	Rn (<1500, редко > 1500)	8—10	Многочисленные скважины и колодцы
HCO ₃ —SO ₄ — Ca—Na; 0,5—1,0; 7,0—7,3	Rn (750—7500)	8—15	Житомирское
Cl—HCO ₃ —Na— Ca; 1—3; 7—7,5	Rn (<1500)	<10	Белоцерковское
HCO ₃ —Cl—Na— Ca; 1,5—5; 7—7,5	Rn (750—7500); CO ₂ (500—1000)	10—15	Ново-Хмельник
Cl—SO ₄ —Ca—Na; SO ₄ —Cl; 2—6; 7,1—7,4	—	10—15	Многочисленные скважины в южной части площади
HCO ₃ —SO ₄ , Ca— Na, Cl—SO ₄ ; 1—5; 7—7,5	Rn (750—7500)	10—15	Кировоградское
HCO ₃ —SO ₄ ; Ca— Na, Cl—SO ₄ ; 1—5; 7—7,5	Rn (<1500)	10—12	Кировское
SO ₄ —Na; 2—5; 6,5—7,5	Rn (<1500)	10—15	Девладовское

Продолжение табл. 5.2

Площадь	Тип	Основные водоносные горизонты, комплексы и их геолого-литологическая характеристика
	Кремнистые, хлоридно-сульфатные	4. Кора выветривания кристаллических пород архея и пески бучагского яруса
<i>II. Приднеп</i>		
1. Криворожско-Кременчугская	Радоновые Радоновые, высокоминерализованные воды и рассолы Хлоридные и сульфатно-хлоридные воды и рассолы	1. Толща древних конгломератов архей-протерозоя 2. Зоны разломов в массивах метасоматически измененных пород железорудной формации протерозоя 3. Зоны разломов массивов кристаллических пород архей-протерозоя криворожско-кременчугского синклиория
2. Днепрпетровско-Запорожская	Радоновые Сульфатные и хлоридно-сульфатные	1. Зоны разломов в массивах гранитов и гранито-гнейсов архея с проявлением восстановительных процессов, приведших к осаждению радиоактивных элементов 2. Буроугольные отложения палеогена во впадинах и кора выветривания кристаллических пород 3. Песчано-глинистые и известковистые отложения палеогеннеогена и кора выветривания кристаллических пород
3. Приазовская	Радоновые Сульфатные и сульфатно-хлоридные	1. Зоны разломов в массивах гранитов, щелочных сиенитов и пегматитов протерозой-палеозоя 2. Кора выветривания кристаллических пород и песчано-глинистые отложения кайнозоя

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация, г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—SO ₄ —Ca—Na; 2,5—5; 7,1—7,5	H ₂ SiO ₃ (50)	10—12	Кришталево
<i>ровский район</i>			
Cl—HCO ₃ , Ca— Na, SO ₄ —Cl; 0,8—3; 7,1—7,3	Rп (< 1500)	8—12	ЮГОК, Николо-Козельск
Cl—Na, SO ₄ — Cl—Na; 5—170; 6,5—7,1	Rп (750—7500), Bг, H ₂ SiO ₃ и CO ₂	10—50	Кривой Рог (шахта им. Валявко)
Cl—Na, SO ₄ — Cl—Na; 5—170; 6,5—7,5	Низкое содержание Bг, H ₂ SiO ₃ , иногда CO ₂	> 20	Кривой Рог (шахта «Родина»)
Cl—HCO ₃ —Ca— Na; 1—3; 7—7,5	Rп (< 1500)	10—15	Натальевское
SO ₄ —Na; 2—5; 6,5—7	Rп (< 1500)	10—15	Отдельные скважины
SO ₄ —Na, Cl— SO ₄ —Ca—Na; 2—5; 7,1—7,5	—	10—15	Многочисленные скважины и колодцы
SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Ca— Na; < 5	Rп (< 1500)	10—15	Велико-Анадольское
SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Ca—Na; 2—5; 7—7,5	—	10—15	Многочисленные скважины и колодцы

Т а б л и ц а 5.3

Радоновые минеральные воды Воронежско-Белорусской области (по

Площадь	Тип	Основные водоносные горизонты, комплексы и их геолого-литологическая характеристика
---------	-----	---

I. Воронеж

1. КМА	Радоновые Хлоридные и сульфатно-хлоридные	1. Трещинные зоны в древних конгломератах архей-протерозоя 2. Зоны разломов массивов железистых кварцитов и сланцев протерозоя
2. Центрально-Воронежская	Радоновые	Зоны разломов в массивах гранитов и пегматитов докембрия
3. Северно-Воронежская	Радоновые и сульфатные	Кора выветривания и зоны разломов в массивах гранитов и пегматитов докембрия; песчаники, известняки и доломиты среднего и верхнего девона
4. Южно-Воронежская	Радоновые, сульфатно-хлоридные и хлоридные	Кора выветривания и зоны разломов в массивах гранитов и пегматитов; песчаники, известняки и доломиты девона и нижнекаменноугольного возраста

II. Белорус

1. Центрально-Белорусская	Радоновые	Зоны разломов в массивах гранитов и пегматитов докембрия
2. Северно-Белорусская	Радоновые и сульфатно-хлоридные	Кора выветривания и зоны разломов в массивах гранитов и пегматитов докембрия; песчаники, сланцы, известняки и доломиты верхнего протерозоя — нижнего палеозоя
3. Южно-Белорусская	Радоновые и хлоридные	Кора выветривания и зоны разломов в массивах гранитов и пегматитов докембрия; песчаники, известняки и доломиты девона и нижнекаменноугольного возраста

Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация, г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	

ский район

HCO ₃ —Cl; 1—3; 7—7,3	Рп (< 2500)	7—10	Волоконовка
Cl—Na, SO ₄ — Cl—Na; 5; 6,5—7,5	Fe (> 10)	10—15	Отдельные скважины
Cl—SO ₄ —Ca— Na, HCO ₃ —Cl— Na; 1—2; 7—7,3	Рп < 7500	10—12	Георгиу-Деж
SO ₄ —Ca—Na; 2—5; 6,5—7,5	Рп < 1500	10—12	Скв. 206 в районе г. Орел
SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—10; 6,5—7,5	Рп < 1500	10—15	Скв. 235 в районе г. Усмань

ский район

HCO ₃ —Na—Ca; < 1; 6,5—7	Рп < 7500	7—10	Скважины в селах Пацевичи, Селиванки и Новоелья
SO ₄ —Cl—Na; 2—10; 7—7,5	Рп < 1500	10—15	Санатории «Радон» и «Поречье»
Cl—Na; < 15; 6,5—7	Рп < 1500	10—15	Отдельные скважины

Прибалтийская область сульфатных, сульфатно-хлоридных и хлоридных, бромных минеральных вод в структурно-тектоническом плане охватывает Прибалтийскую синеклизу и Латвийскую седловину. На севере она граничит с Балтийской, на юге с Воронежско-Белорусской, на востоке с Московско-Северо-Двинской областями минеральных вод. Представляя неразрывность с восточной частью Русской платформы, Прибалтийская область по особенностям строения обладает рядом существенных отличий. В ее пределах отсутствуют отложения карбона и нижней перми. Девон непосредственно перекрыт отложениями верхней перми. В Прибалтийской синеклизе отложения кембрия, ордовика, силура и нижнего девона являются нефтегазоносными.

В Прибалтийской области выделяют: I — Калининградский район хлоридных и сульфатно-хлоридных, сероводородных и йодобромных вод; II — Вильнюс-Таллинский район хлоридных и сульфатно-хлоридных вод (рис. 5.5).

Калининградский район характеризуется наибольшим разнообразием типов минеральных вод. Широкое распространение имеют хлоридные (бромные), гидрокарбонатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные и сульфатные минеральные воды. В комплексах палеозоя на участках куполовидных структур с проявленной нефтегазоносностью вскрыты сероводородные воды.

Сероводородные воды, формирование которых связано с торфяниками, имеют локальное развитие в обоих районах и используются для лечебных целей (месторождения Кемери и Хилово и др.).

В Вильнюс-Таллинском районе на участках открытой разработки битуминозных сланцев ордовика, обогащенных сульфидами, формируются купоросные воды (ист. Кохтла-Ярве). Характеристика минеральных вод дана в табл. 5.4.

Днепровско-Донецкая область хлоридных бромных с локальными участками сероводородных, слабарадоновых и кремнистых минеральных вод включает Днепровско-Донецкий, Припятский прогибы и Брестскую впадину, образующие единую отрицательную структуру по поверхности фундамента. На юге область граничит со структурами Украинского кристаллического щита, на севере — с Белорусским и Воронежским массивами. На востоке она примыкает к Доно-Медведицкому валу и Донецкому бассейну. Область характеризуется широким распространением мощной толщи (до 1000 м и более) соленосных осадков верхнего девона. Соленосные осадки залегают и в отложениях перми. В каменноугольный период происходило накопление песчано-глинистых и карбо-

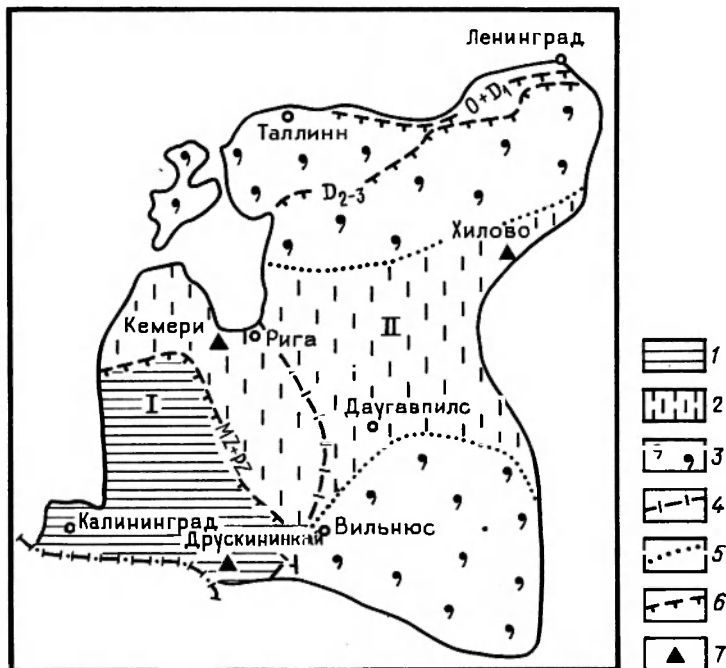


Рис. 5.5. Прибалтийская область сульфатных, сульфатно-хлоридных и хлоридных бромных вод и рассолов.

Районы: I — Калининградский; II — Вильнюс-Таллиннский. Типы минеральных вод: 1 — иодобромные хлоридные; 2 — бромные хлоридные; 3 — сульфатные и сульфатно-хлоридные. Границы: 4 — района; 5 — площади; 6 — водоносного комплекса. 7 — месторождение минеральных вод. D_{2+3} , $O+D_1$, $MZ+PZ$ — возраст основных водоносных комплексов

натных пород (мощностью до 3 км) с большими массами каменных углей.

Активный рост штоков девонской соли происходил в предкаменноугольный, предверхнепермский, предмеловой, предпалеогеновый периоды и приводил к прорыву водоупорных толщ, выносу солей и миграции углеводородов вверх по разрезу. Эти процессы интенсивно проявлялись в периоды варисской, киммерийской и альпийской складчатостей. Раскрытие многочисленных солянокупольных структур сопровождалось разгрузкой подземных вод Припятско-Днепровско-Донецкой впадины как единой водонапорной системы. В заключительные периоды геологического развития Припятско-Днепровско-Донецкого прогиба сформировалась система

Т а б л и ц а 5.4

Сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридно-бромные минеральную, 1986 г.)

Район	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Калининградский	Хлоридные йодобромные Хлоридные и сульфатно-хлоридные, бромные Сульфатные сульфатно-хлоридные и хлоридные, бромные Сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные бромные	1. Рифей-кембрийский; песчаники, глины, алевролиты, конгломераты 2. Ордовик-нижнедевонский; известняки, доломиты, мергели и гипсы 3. Средне-верхнедевонский; песчаники, пески, глины, известняки, доломиты и гипсы 4. Верхнепермский; базальные конгломераты, песчаники, известняки и доломиты, местами гипсы и каменная соль 5. Мезозойский; пестроцветные и сероцветные песчано-глинистые отложения
II. Вильнюс-Таллиннский	Гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные, бромные Сульфатные, гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные Сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные	1. Рифей-кембрийский; песчаники, алевролиты, пески, глины 2. Ордовикско-нижнедевонский; известняки, доломиты, гипсы 3. Средне-верхнедевонский; известняки, доломиты, гипсы, песчаники, мергели, глины

поперечных поднятий, которые расчленили его на ряд впадин (Припятская, Днепровская, Донецко-Донская, Брестская).

Припятская впадина характеризуется промышленной нефтегазоносностью пород подсолевого и межсолевого комплексов девона. Днепровская впадина отличается нефтегазоносностью отложений среднего-верхнего карбона и нижней перми. Нефтегазоносны отложения среднего карбона Донецко-Донской впадины. В Брестской впадине нефтегазоносность проявлена в виде примазок нефти и битума и слабого газопроявления из отложений кембрия-ордовика.

В Днепровско-Донецкой области выделяют следующие районы: I — Брестский; II — Припятский; III — Днепров-

ные воды Прибалтийской области (по Г. В. Куликову, А. В. Жевла-

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л)	Температура, °С	
Cl—Na, Cl—Na—Ca; < 200; 5,5—7,5	Br (25—900); I > 5; HNO ₂ (50—150)	10—60	Советск
Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na; 2—200; 5,5—7,5	Br (< 300)	10—50	Советск
SO ₄ —Ca—Na, Cl—Na; 2—120; 7—7,5	Br (< 500)	10—40	Паланга
SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Ca—Na, Cl—Na; 2—130; 7—7,5	Br (25—535), редко H ₂ S	10—30	Мамоново
Cl—HCO ₃ —Na, Cl—SO ₄ —Na, Cl—Na; 4—60; 6,5—7,5	Br (< 100)	8—25	Друскининкай, скв. 1421, Калининград
HCO ₃ —Cl—Na, Cl—Na; 2—120; 6—7,5	Br (25—250 и более), редко I (до 10)	8—20	Плявинас, Даугавпилс
SO ₄ —Na, HCO ₃ —Cl—Na, Cl—Na; < 100; 7—8	Br (25—100, иногда более)	8—10	Даугавпилс
SO ₄ —Ca, SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—20; 6,5—7,5	—	8—15	Новополоцк, скв. 1РЭ

ский; IV — Донецко-Донской районы минеральных вод (рис. 5.6).

Днепровско-Донецкая область характеризуется развитием преимущественно высокоминерализованных вод и рассолов хлоридного натриевого и кальциево-натриевого составов, обогащенных бромом (табл. 5.5).

В Брестском районе основные водоносные комплексы минеральных вод — докембрийский и нижнепалеозойский, в Припятском, Днепровском и Донецко-Донском районах — девонский, каменноугольный, пермо-триасовый или триас-юрский и мезозой-кайнозойский. В девонском комплексе Припятского района минеральные воды и рассолы иногда

Таблица 5.5

Хлоридные бромные с локальными участками сероводородных, слабой области (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Районы	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Брестский	Хлоридные, бромные	1. Докембрийский (рифей-вендский); терригенные и вулканогенные образования — алевролиты, граувакки, туфы, глины
	Гидрокарбонатно-хлоридные	2. Нижнепалеозойский (кембрий, ордовик, силур); терригенные и карбонатные породы — песчаники, алевролиты, глины, мергели, известняки и доломиты
II. Припятский	Хлоридные, йодобромные	1. Девонский комплекс — подсолевой, межсолевой и надсолевой водоносные горизонты; песчано-глинистые, соленосные и карбонатные отложения
	Сульфатно-хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные, редко радоновые	Хлоридные бромные Девонский комплекс — распространен в северной части Припятской впадины в местах отсутствия соленосных толщ
III. Днепровский	Сульфатно-хлоридные и хлоридные, бромные	1. Каменноугольный; песчано-глинистые отложения с толщей известняков и доломитов в нижней части разреза
	Хлоридные, бромные	3. Пермо-триасовый; пестроцветные песчаники и алевролиты с прослоями глин
III. Днепровский	Хлоридные, бромные	1. Девонский комплекс — подсолевой, межсолевой и надсолевой водоносные горизонты; песчано-глинистые, соленосные и карбонатные отложения с покровной толщей диабазов
	Хлоридные	2. Каменноугольный; песчаники, алевролиты, аргиллиты и известняки
	Хлоридные и гидрокарбонатные воды, хлоридные бромные рассолы	3. Пермо-триасовый; пестроцветная толща песчаников и алевролитов с прослоями глин, содержащая углеродистое вещество (твердые битумы, уголь), в пределах купольных структур обогащена сульфидными минералами и радиоактивными элементами

борадоновые и кремнистые минеральные воды Днепровско-Донец-

физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализации, г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Температура, °C	
Cl—Na; 4—20 и более; 6,5—7,5	Br (< 50)	15—25	Кобрин, санаторий Берестье
HCO ₃ —Cl—Na; 2—5; 6,5—7,5	—	10—15	Отдельные скважины
Cl—Na, Cl—Ca—Na, Cl—Ca; < 450; 4,5—6,5	I (< 180); Br (< 6500); > H ₂ S (< 214)	30—80	Копаткевичи, скв. 4-р, Ельск, скв. 7-р
SO ₄ —Cl—Na, HCO ₃ —Cl—Na, Cl—Na, Cl—Ca—Na; 2—10; 6,5—7,5	Rn (< 750)	10—15	Октябрьско-Малиновская площадь
Cl—Na, Cl—Ca—Na, 10—150	Br (50—200); H ₂ S	20—30	Отдельные скважины
SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 4—15; 6,5—8	Br (25—50)	15—25	Гомель, санаторий Васильевка, скв. 2
Cl—Na; Cl—Ca—Na; 150—350; 4—6,5	Br (> 200)	40—90	Чернухи
Cl—Na, Cl—Ca—Na; 50—250; 5,5—6,5	Br (< 310); I (15); HBO ₂ (50)	30—85	Махначи, скв. 1-р, Карачёвка

Районы	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
--------	-----	---

	Хлоридные, бромные, гидрокарбонатно-хлоридные и гидрокарбонатные магниевые, кремниевые	а) в центральной части Днепровско-Донецкой впадины б) в краевых зонах Днепровско-Донецкой впадины
IV. Донецко-Донской	Сульфатно-хлоридные и хлоридные бромные	4. Мезозой-кайнозойский; пески, песчаники, мергели, известняки
	Сульфатно-хлоридные и хлоридные, бромные и сероводородные	Девонский; песчаники, алевролиты, известняки, доломиты, гипсы
	Хлоридные, сульфатно-хлоридные и сульфатные, сероводородные, кремнистые, борные и купоросные	2. Каменноугольный; песчаники, аргиллиты, алевролиты и известняки
		3. Триас-юрский; песчаники, алевролиты, глины, известняки

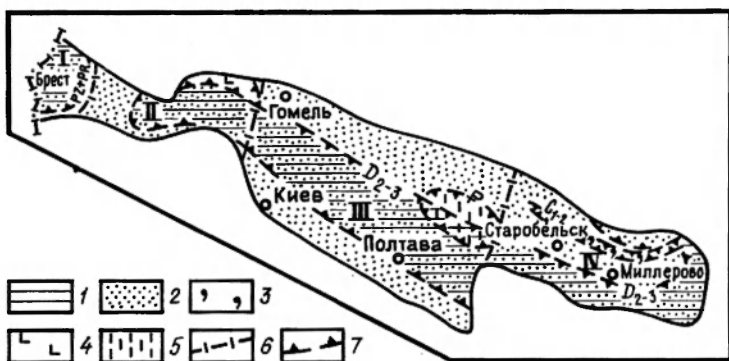


Рис. 5.6. Днепровско-Донецкая область хлоридных бромных с локальными участками сероводородных, слаборадоновых и кремнистых минеральных вод и рассолов.

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализации, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na; 9—315; 6—7	Rn (<370);	H ₂ S 20—50	Махначи, скв. 1-р, Красноград, скв. 20
Cl—Na, HCO ₃ — Na—Ca; 5—15, 0,5—1; 7—7,5	H ₂ SiO ₃ (<60)	10—20	Галещино, скв. 1057, Сыроватко, скв. 1188
Cl—Na, HCO ₃ — Cl—Na, HCO ₃ — Mg—Ca; 1—70; 6,5—8	Br (25—80); H ₂ SiO ₃ (80); H ₂ S (20—30)	9—20	Харьков, санаторий Березовский, Лучки, скв. 23, Краснокутск
SO ₄ —Cl—Na, Cl— Na, Cl—Ca— Na; 2—50; 6—7	Br (30—150)	10—20	Вешенское, скв. 188
Cl—Na, Cl—Ca— Na, SO ₄ —Cl— Na; 2—30; 6,5— 7,5	Br (50—100); H ₂ S (20—30)	15—30	Старобельск, Ново- псков, Меловое
SO ₄ —Na, SO ₄ — Cl—Ca—Na; 2—10; 3,2—5	H ₂ S (30—100); H ₂ SiO ₃ (50— 100); HBO ₂ (50— 80)	10—30	Терновская структу- ра, Калач, скв. 6, Си- ротская

содержат йод и сероводород. В северной части этой впадины минеральные воды слаборадоновые. В каменноугольном водоносном комплексе Донецко-Донского района в пределах Старобельско-Миллеровской моноклинали выделяют зону сероводородных вод, формирующихся за счет взаимодействия сульфатных вод и углеводородных газов. Пермо-триасовый (триас-юрский) водоносный комплекс Днепровского и Донецко-Донского районов характеризуется локальным распространением сероводородных, слаборадоновых и купоросных вод. Мезозойско-кайнозойский водоносный комплекс

Районы: I — Брестский; II — Припятский; III — Днепровский; IV — Донецко-Донской. Типы минеральных вод: 1 — бромные хлоридные; 2 — сульфатные, сульфатно-хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридные; 3 — сероводородные; 4 — слаборадоновые; 5 — кремнистые. Границы: 6 — района; 7 — водоносного комплекса. PZ + PR, C₁₊₂, D₂₊₃, P — возраст основных водоносных комплексов

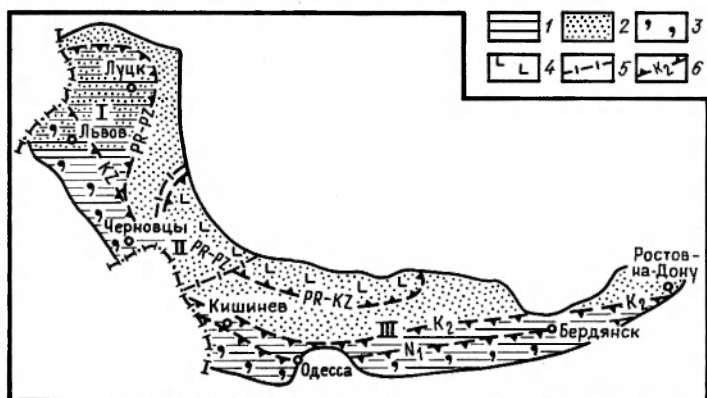


Рис. 5.7. Причерноморско-Днестровская область хлоридных, сульфатных, гидрокарбонатно-хлоридных, иодобромных, сероводородных вод и рассолов.

Районы: I — Львовский; II — Приднестровский; III — Причерноморский. Типы минеральных вод: 1 — иодобромные хлоридные; 2 — сульфатные, сульфатно-хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридные; 3 — сероводородные; 4 — слаборадоновые. Границы: 5 — района, 6 — водоносного комплекса. PR—PZ, PR—KZ, KZ, K₂, N₁ — возраст основных водоносных комплексов

в Днепровском районе содержит гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией 4—10 г/л. В восточной части этого района в палеогеновом водоносном горизонте выделяется площадь развития кремнистых вод (содержание H_2SiO_3 от 60 до 80 мг/л). Их формирование связано с поступлением углеводородов в горизонты кварцевых песков и образованием вследствие этого кремнийорганических соединений. На отдельных участках воды слабосероводородные.

Причерноморско-Днестровская область хлоридных, сульфатных, гидрокарбонатно-хлоридных, йодобромных, сероводородных, реже кремнистых и слаборадоновых минеральных вод. На севере она граничит с Полесской седловиной (Волынским выступом фундамента), Украинским кристаллическим щитом и Донецким бассейном; на западе — с Карпатами; на юге и юго-востоке — со Скифской плитой. В ее пределах выделяют крупные геологические структуры: Львовскую (Волыно-Подольскую) впадину и Причерноморский склон Украинского кристаллического щита (УКЩ), разобщенные между собой зоной приднестровских дислокаций. Львовская впадина представляет собой часть обширного палеозойского прогиба и находится в зоне перехода юго-западной оконечности Русской платформы к Предкарпатскому

прогибу. Южная часть области — моноклиальный склон УКЩ — отделяется от Причерноморского прогиба системой ступенчатых крупноамплитудных сбросов.

В Причерноморско-Днестровской области выделяют: I — Львовский; II — Приднестровский; III — Причерноморский районы минеральных вод (рис. 5.7). В зоне, примыкающей к Предкарпатскому и Причерноморскому прогибам, распространены сероводородные воды (табл. 5.6). Их формирование происходит в результате восстановления сульфат-иона вод углеводородными газами, поступающими из прогибов. В глубоких водоносных комплексах: рифей-кембрийском, палеозойском и мезозойском широко развиты хлоридные воды и рассолы, содержащие бром, йод, иногда бор. В северной части области, в пределах неглубокого залегания кристаллического фундамента, могут быть вскрыты слаборадоновые воды. В Приднепровском районе эти воды формируются за счет повышенных концентраций радиоактивных элементов, привнесенных в процессе щелочного метасоматоза. В Причерноморском районе слаборадоновые воды могут быть вскрыты во впадинах с буроугольными осадками бучакского яруса палеогена, обогащенными радиоактивными элементами.

Московско-Северодвинская область сульфатных, хлоридных бромных минеральных вод и рассолов расположена в центральной и северной частях Русской платформы. На северо-западе она примыкает к Балтийскому щиту, на северо-востоке граничит с Тиманским кряжем, на востоке с Волго-Уральской антеклизой, на юго-востоке отделяется от Волго-Уральской области Токмовским сводом, а на юге примыкает к Воронежской и Белорусской антеклизам. В ее пределах находятся крупные структуры: Ладожская моноклираль, Московская и Мезенская синеклизы. Строение платформенного чехла области неоднородно. В пределах области выделяют следующие районы минеральных вод: I — Прионежский; II — Московский; III — Северодвинский (рис. 5.8). Наибольшее площадное распространение в области имеют сульфатные, сульфатно-хлоридные и гидрокарбонатно-хлоридные воды, связанные с гипсоносными и соленосными фациями отложений девона, карбона и пермо-триаса (табл. 5.7).

В глубоких горизонтах докембрийско-кембрийского, ордовикского, девонского, каменноугольного (реже пермо-триасового) водоносных комплексов широко развиты бромсодержащие рассолы хлоридного натриевого и кальциево-натриевого составов. Йодные воды развиты на ограниченной площади

Т а б л и ц а 5.6

Хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатно-хлоридные, йодобромные, воды Причерноморско-Днестровской области (по Г. В. Куликову,

Район	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Львовский	<p>Хлоридные, йодобромные</p> <p>Хлоридные, йодобромные, хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные, сероводородные</p> <p>Гидрокарбонатные, кремнистые, хлоридные, сульфатные, сероводородные</p> <p>Гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатные, сероводородные</p>	<p>1. Докембрийско-кембрийский; терригенные, преимущественно песчаные и вулканогенные породы рифея-венда и нижнего кембрия</p> <p>2. Палеозойский; известняки и доломиты ордовика, силура, девона и карбона, среди терригенно-карбонатных пород карбона углистые сланцы и пласты угля</p> <p>3. Мезозойский (верхнемеловой); пески, песчаники, глины, мергели и известняки</p> <p>4. Кайнозойский (миоценовый); известняки, гипсы, глины и пески</p>
II. Приднестровский	<p>Хлоридные, бромные, иногда слабарадоновые</p> <p>Гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные</p> <p>Сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные, кремнистые</p> <p>Сульфатные</p>	<p>1. Докембрийско-кембрийский; конгломераты, алевролиты, песчаники, граувакки, туфы и туффиты</p> <p>2. Палеозойский (ордовикско-силурийский); известняки, доломиты, мергели, в верхней части нижнего девона (красноцветные песчаники, алевролиты и глины Днестровской серии)</p> <p>3. Мезозойский (верхнемеловой); песчаники, глины, мергели и известняки</p> <p>4. Кайнозойский (миоценовый); пески, песчаники, глины, мергели и известняки</p>
III. Причерноморский	<p>Хлоридные, хлоридно-гидрокарбонатные, йодобромные</p> <p>Хлоридные, хлоридно-сульфатные, бромные</p> <p>Сульфатные, хлоридные, сероводородные</p>	<p>1. Мезозойский (верхнемеловой); пески, песчаники, глины, мергели и известняки</p> <p>2. Палеогеновый; пески, песчаники, глины, известняки</p> <p>3. Неогеновый; пески, песчаники, глины, известняки и гипсы</p>

сероводородные, реже кремнистые и слаборадоновые минеральные
 А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав вод; минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na, Cl—Ca; 10—300; 5,6—6,5	Br (50—1500); I (<100)	20—75	Журавичи Волынской области, скв. 8
Cl—Na; 10—150; 5,5—6,5; Cl—SO ₄ , SO ₄ —Mg—Ca; 2—10; 5,5—7	Br (<800); I (<30); H ₂ S (20—30)	20—65	Ванин Львовской области, скв. 13, Олеско, скв. 1
HCO ₃ —Mg—Ca, Cl—Na, SO ₄ —Na; 2—10; 6,5—7,5	H ₂ SiO ₃ (<53); H ₂ S (20—30)	8—20	Хмельницкий, Ново-Милятин Львовской области, скв. 546
HCO ₃ —SO ₄ —Na, SO ₄ —Na; 2—7; 6,5—7,5	H ₂ S (50—150 и более)	8—15	Курорты: Немиров, Шкло, Любень Великий
Cl—Na; <100; 6—7	Br (<150); Rn (<1500)	10—30	Збручанское, скв. 1657
HCO ₃ —SO ₄ — Ca—Na, SO ₄ — Ca—Na, SO ₄ — Cl—Na; 2—7; 6,5—7,5; Cl—Na; 20—50; 6—7	—	8—20	Отдельные скважины
SO ₄ —HCO ₃ — Mg—Ca, SO ₄ — Na; SO ₄ —Cl— Na; 0,9—5; 6,5—7,5	H ₂ SiO ₃ (<70)	8—15	Камень-Подольский
SO ₄ —Ca—Na; 2—5; 6,5—7,5	Br (<150); I (<10)	8—13	Отдельные скважины
Cl—Na, Cl— HCO ₃ —Na; 10—120; 5,5—6,5		15—30	Бердянск, Кирилловка
Cl—Na, Cl— SO ₄ —Na; 5—50; 6—7,5	Br (<80)	10—20	Борислав, скв. 5р, Куяльник, Фонтан
SO ₄ —Na, Cl—Na; 2—20; 6,5—7,5	H ₂ S (20—50)	10—15	Куяльник, Снигиревка, Кирилловка, Курортное, санаторий Дальний Одесский

Т а б л и ц а 5.7

Сульфатные, хлоридные, бромные минеральные воды и рассолы лакову, 1986 г.)

Район	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Прионеж- ский	Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные Хлоридно-сульфатные Сульфатно-хлоридные, хлоридные бромные	1. Докембрийско-кембрийский; грубозернистые песчаники рифея с прослоями алевролитов; песчаники, пески, аргиллиты и глины венд-кембрия 2. Ордовикский; песчаники, глинистые известняки и доломиты 3. Девонский; нижние горизонты — песчано-глинистые отложения, верхние — сульфатно-карбонатные отложения
	Сульфатно-хлоридные, хлоридные	4. Каменноугольный; нижние горизонты — известняки, пески, глины, верхние — известняки, доломиты, мергели
	Сульфатные и хлоридно-сульфатные	5. Пермо-триасовый; нижние горизонты — известняки, доломиты, гипсы, верхние — пески, песчаники, глины
	Хлоридные, йодные	6. Кайнозойский (четвертичный); прибрежно-морские песчано-глинистые отложения
II. Москов- ский	Хлоридные, бромные	1. Докембрийско-кембрийский; песчаники, алевролиты, глинистые сланцы
	Хлоридные, бромные	2. Ордовикский; песчаники, глинистые известняки и доломиты
	Хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные	3. Девонский; нижние горизонты — пестроцветные песчано-глинистые отложения, верхние — сульфатно-карбонатные отложения с прослойками солей
	Сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные	4. Каменноугольный; нижние горизонты — известняки и углисто-глинистые отложения, верхние — известняки и доломиты

Московско-Северодвинской области (по Г. В. Куликову, А. В. Жев-

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация М, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—HCO ₃ , SO ₄ —HCO ₃ , SO ₄ —Cl; 2—10; 6,5—7,3 Cl—Na; < 180; 6—7	Bг < 400	< 15	Крестцы, скв. 1-р, курорт «Беломорье», скв. 16
Cl—SO ₄ ; 3—5; 7,3—7,5 SO ₄ —Cl—Ca—Na, Cl—Mg—Na, Cl—Ca—Na, Cl—Na; 2—20; 6,5—7,5	—	< 12	Отдельные скважины
SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2 < M < < 25	Bг < 55	< 10	Курорт «Старая Русса»
SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2 < M < < 25	I < 20; Bг < 50	< 10	Архангельск, Белозерск
SO ₄ —Na, Cl—SO ₄ —Na—Mg; 2—5,5; 7—7,5	—	< 10	Вельск
Cl—Na; 10—15; 6,8—7,3	15 < I < 30	< 5	Лапоминка
Cl—Na, Cl—Na—Ca; 50—300; 5—6,5	Bг < 1500; HBO ₂ < 300	25—50	Курорт Пржевальское, Москва
Cl—Na, Cl—Ca—Na; 50—350; 5—6,5	Bг < 500; I < < 20	20—40	Галич, Рассолово, скв. 1
Cl—SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Mg—Na, Cl—Na, Cl—Ca—Na; 2—300; 5,7,5	Bг < 650; I < 40; HBO ₂ < 10; Fe < 150; Sr < < 472; H ₂ S < 65	10—40	Вологда, скв. 2/65, Москва, санаторий «Озеры», курорты «Тишково» и «Барвиха» Московской области, Назимово, Псковская область
SO ₄ —HCO ₃ —Ca, SO ₄ —Ca, SO ₄ —Mg—Ca, SO ₄ —Cl—Ca—Na, Cl—Na; 2—320; 6—7,5	F < 5; Bг < 500; HBO ₃ < 200; I < 10; Rn < < 1500; H ₂ S < < 60	8—30 10—20	Курорт «Крайнка», Андронов, скв. 6, Черкуши Горьковской области, Усть-Коль Вologodской области

Продолжение табл. 5.7

Район	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
III. Северо-Двинский	Хлоридные, бромные	5. Пермо-триасовый; нижние горизонты — доломиты, гипсы, пласты соли, верхние — пестроцветные песчаники, глины
	Хлоридные, бромные	1. Докембрийско-кембрийский; грубозернистые песчаники рифся с прослоями алевролитов; песчаники, пески, аргиллиты и глины венд-кембрия 2. Девонский; нижние горизонты — пестроцветные песчано-глинистые отложения, верхние — сульфатно-карбонатные отложения с прослоями солей
	Хлоридные, бромные	3. Каменноугольный; нижние горизонты — известняки и углисто-глинистые отложения, верхние — известняки и доломиты
	Сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные, бромные, йодные, сероводородные	4. Пермо-триасовый; нижние горизонты — доломиты, гипсы, пласты соли, верхние — пестроцветные песчаники и глины

в приустьевой части р. Северной Двины. Они образуются в прибрежно-морских осадках четвертичного возраста, обогащенных органикой. В Предтиманском прогибе по геологоструктурным и литолого-фациальным условиям и в связи с его нефтегазоносностью предполагается широкое распространение сероводородных вод в отложениях перми и карбона (типа курорта «Серегово»). Сероводородные воды также могут быть встречены на локальных участках в других районах, где они формируются за счет взаимодействия сульфатных вод с болотной органикой.

На площади выходов угленосных отложений нижнего карбона (Мосбасс), на участках их обогащения радиоактивными элементами, можно ожидать развития радоновых вод. В южной части Московского района минеральные воды девонского и каменноугольного комплексов часто содержат повышенные концентрации фтора, стронция, молибдена, железа.

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация <i>M</i> , г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
HCO ₃ —SO ₄ —Ca, Cl—SO ₄ —Na, SO ₄ —Na—Ca, Cl—Na; 2—220; 6—7,5	H ₂ S < 65	7—20	Углицкий завод розлива, Буй, ист. Усолье № 1
Cl—Na, Cl—Na—Ca; 50—300; 5—6,5	Br < 1500; HBO ₂ < 100; I < 10	30—60	Койнас, скв. 1, Архангельская область
Cl—Na, Cl—Ca—Na; 50—250; 5,5—6,5	Br < 600	20—40	Аныб (Коми ССР)
Cl—Na; 35—275; 5,5—6,5	Br < 1000; HBO ₂ < 100	10—30	Березник Архангельской области, Опарино Кировской области, Сысола Коми ССР
SO ₄ —Ca, Cl—SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—120; 6,5—7,5	Br < 200; I < 25; HBO ₂ < 300; H ₂ S < 85	50—20	Гагаринское, скв. 61, Ненецкий автономный округ, Верхний Смоленец Архангельской области, курорты «Серегово» и «Сольвычегодск»

Волго-Уральская область сероводородных, йодобромных, радоновых, сульфатных и хлоридных минеральных вод и рассолов расположена в юго-восточной части Русской платформы. На западе и северо-западе она граничит с Московско-Северодвинской областью минеральных вод и отделяется от нее Токмовским, Котельническим и Сысольским сводами. Северо-восточная и восточная границы области проходят по юго-западному склону Тимана и западному склону Урала. На юге она граничит с Прикаспийской областью минеральных вод, отделяясь от нее Жигулевско-Пугачевским и Оренбургским сводовыми поднятиями. На юго-западе она граничит с Рязано-Саратовской областью минеральных вод. В геологическом отношении Волго-Уральская область представляет собой крупную и сложнопостроенную антеклизу. Она характеризуется как высокоперспективная нефтегазоносная

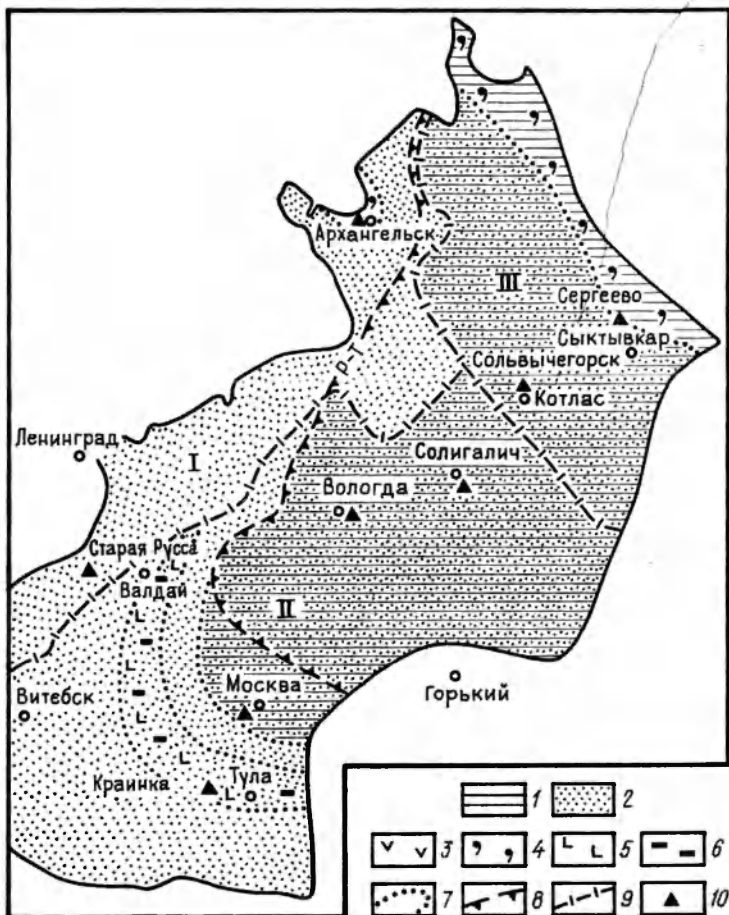


Рис. 5.8. Московско-Северодвинская область сульфатных, хлоридных, бромных минеральных вод и рассолов.

Районы: I — Пронежский; II — Московский; III — Северодвинский. Типы минеральных вод: 1 — бромные хлоридные; 2 — сульфатные, сульфатно-хлоридные и гидрокарбонатно-хлоридные; 3 — иодные; 4 — сероводородные; 5 — радоновые. Границы: 6 — неглубокого залегания угленосной толщи карбона; 7 — развития минеральных вод различного типа; 8 — распространения пермо-триасового водоносного комплекса; 9 — района. 10 — курорты и источники минеральных вод

провинция Советского Союза. В пределах Волго-Уральской области выделяют: I — Сурский; II — Волго-Камский, III — Предуральский районы минеральных вод (рис. 5.9).

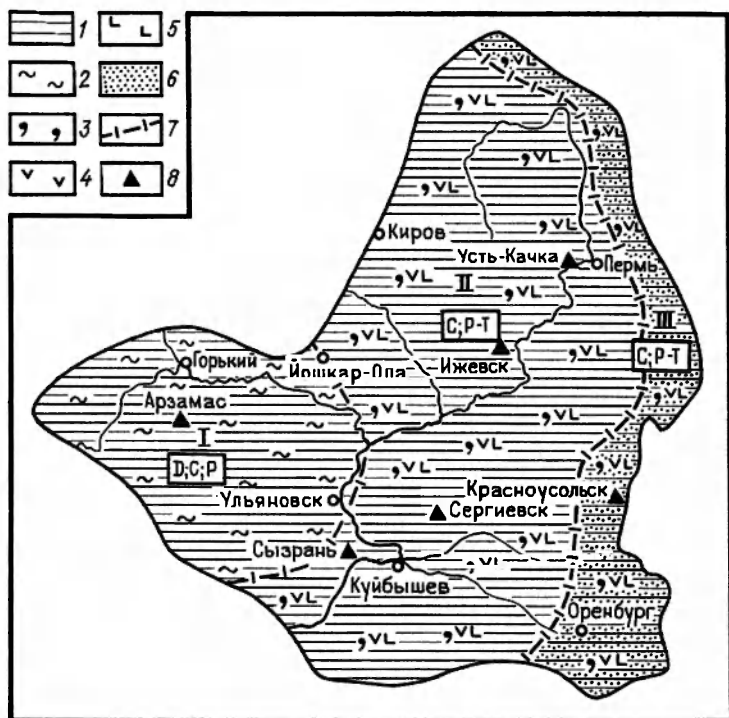


Рис. 5.9. Волго-Уральская область сероводородных, иодобромных, радоновых, сульфатных и хлоридных минеральных вод.

Районы: I — Сурский; II — Волго-Камский; III — Предуральский. Типы минеральных вод: 1 — сульфатные и хлоридные; 2 — бромные; 3 — сероводородные; 4 — иодобромные; 5 — радоновые; 6 — купоросные; 7 — границы районов; 8 — курорты и источники минеральных вод. D, P—T, C — возраст основных водоносных комплексов

Для бальнеологического использования минеральных вод перспективны следующие водоносные комплексы: девонский, каменноугольный и пермский в Сурском районе; каменноугольный и пермо-триасовый в Волго-Камском и Предуральском районах. Девонский водоносный комплекс в центральной и восточной частях области в связи с глубоким его залеганием практического значения не имеет.

Сурский район расположен в пределах Токмовского свода. Он характеризуется широким распространением сульфатных и сульфатно-хлоридных вод невысокой минерализации (табл. 5.8). Хлоридные натриевые рассолы, развитые в девон-

Т а б л и ц а 5.8

Сероводородные, йодобромные, радоновые, сульфатные и хлорид кову, А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Район	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Сурский	Хлоридные, бромные Сульфатно-хлоридные и хлоридные, бромные Сульфатные, хлоридные, бромные	1. Девонский; песчано-глинистые и карбонатные отложения 2. Каменноугольный; карбонатные отложения с пачкой глин и песчаников в нижней части 3. Пермский; в нижней части комплекса — карбонатные породы с прослоями гипсов и ангидритов; в верхней — песчано-глинистые отложения
II. Волго-Камский	Сероводородные, йодобромные, радоновые, сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные	1. Каменноугольный; терригенные породы с горизонтами известняков и доломитов в нижней части комплекса, карбонатные породы — в верхней части 2. Пермо-триасовый; в нижней части комплекса — карбонатные отложения с прослоями гипса, ангидрита и каменной соли, в верхней части — терригенные отложения
III. Предуральский	Сероводородные, йодо-бромные, радоновые, хлоридные Сероводородные, радоновые, йодобромные, купоросные, сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные	1. Каменноугольный; терригенно-карбонатные отложения с угленосной свитой в нижней части комплекса 2. Пермо-триасовый; в нижней части комплекса — карбонатные породы, перекрытые сульфатно-галогенной толщей, в верхней — пестроцветные песчано-глинистые отложения с медистыми песчаниками

ные минеральные воды Волго-Уральской области (по Г. В. Кули-

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na, Cl—Ca—Na; 35—300; 5,5—6,5	Br (500—1000)	20—50	Прудовская, скв. 4, Арзамас, скв. 36
SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—25; 6,5—7,5	Br (300—400), иногда HBO ₂	17—30	Городище Ульяновской области, скв. 2/26, Саранск, скв. 1
SO ₄ —Na, SO ₄ —Ca, Cl—Na; 2—72; 6,5—7,5	Br (<120)	10—15	Алатырь, Чебоксары
Cl—SO ₄ —Na, Cl—Na; 20—330; 5,5—7,5	H ₂ S (70—1100); Рп (200—750); Br (500—1000); I (10—15)	10—50	Сызрань
SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 5—15; 5—7	H ₂ S (101—2000); Рп (300—1000); Br (25—350); I (5—15)	8—30	Санатории «Усть-Качка», «Ключи» и «Краснокамск», район г. Ижевска
Cl—Ca—Na; 10—280; 6—7,5	H ₂ S (50—1000); Рп (300—600); I (5—15, редко до 41); Br (300—2000)	20—60	Тартинская, скв. 3, Красноуфольск, скв. 11, Кизел
SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—300; 5,5—7,5	H ₂ S (100—2000); Рп (370—500); I (5—93); Br (300—2000)	8—30	Санатории «Ишимбай», «Ключи», «Красноуфольск», «Березняки», ист. Самаровский Пермской области

ском водоносном комплексе, содержат высокие концентрации брома. В его пределах отсутствуют сероводородные воды.

Волго-Камский и Предуральский районы характеризуются широким распространением сероводородных вод. В Предуральском районе за счет сульфидной минерализации в угленосной толще карбона и пестроцветных отложениях верхней перми формируются купоросные воды.

В центральной и восточной нефтегазоносных частях области распространены йодобромные и радоновые воды. Формирование радоновых вод происходит за счет широкого распространения пестроцветных отложений пермо-триаса и битуминозных известняков верхнего карбона, обогащенных радиоактивными элементами. В Предуральском районе, в пределах распространения медистых песчаников, развиты купоросные и радоновые воды, а также воды с повышенными содержаниями Cu, Mo, V, Pb, Zn и др. элементов.

Рязано-Саратовская область сульфатных, хлоридных, бромных и сероводородных минеральных вод и рассолов представляет собой крупную впадину со сложным геологическим строением. Рязано-Саратовский (Пачелмский) прогиб выделяется как Сурско-Хоперский или Пачелмский артезианский бассейн. Область ограничивается северо-восточным склоном Воронежской антеклизы, южным склоном Токмовского и западным склоном Жигулевско-Пугачевского сводов. На юго-востоке область раскрыта в сторону Прикаспийской синеклизы. В Рязано-Саратовской области выделяются: I — Хоперский; II — Пачелмский и III — Доно-Медведицкий районы минеральных вод (рис. 5.10). Для бальнеологического использования перспективны следующие водоносные комплексы: рифейский в Пачелмском районе, девонский и каменноугольный в пределах всей области, пермский и мезозой-кайнозойский в Доно-Медведицком районе.

Хоперский район характеризуется развитием сульфатных, сульфатно-хлоридных и хлоридных бромных вод девонского и каменноугольного комплексов (табл. 5.9). Пачелмский район отличается широким распространением рифейского водоносного комплекса с высококонцентрированными хлоридными бромсодержащими рассолами. В девонском и каменноугольном водоносных комплексах этого района развиты такие же типы минеральных вод и рассолов, как в Хоперском районе. В Доно-Медведицком районе водоносные комплексы отличаются большим разнообразием минеральных вод. Широко распространены сероводородные, йодобромные, иногда слабо-радоновые воды.

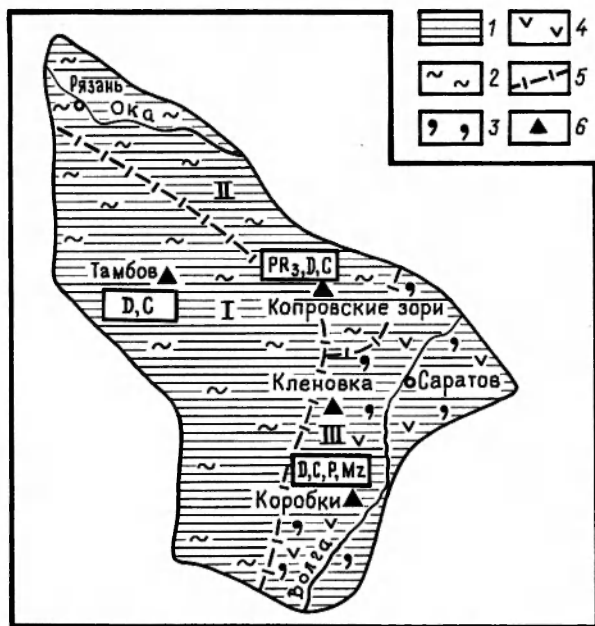


Рис. 5.10. Рязано-Саратовская область сульфатных, хлоридных, бромных и сероводородных минеральных вод и рассолов.

Районы: I — Хоперский; II — Пачелмский; III — Донско-Медведицкий. Типы минеральных вод: 1 — сульфатные и хлоридные; 2 — бромные; 3 — сероводородные; 4 — иодобромные. 5 — границы района; 6 — курорты и источники минеральных вод. PR, D, C, MZ, P — возраст основных водоносных комплексов

Прикаспийская область сульфатных и хлоридных, йодобромных с локальным распространением сероводородных и радоновых вод и рассолов расположена в пределах одноименной синеклизы. Кристаллический фундамент в ее центральной части залегает на глубинах 15—20 км. На северо-западе область ограничивается структурами Донско-Медведицкого вала, на севере — Жигулевско-Пугачевским и Оренбургским сводами. На востоке граница ее проходит по западному склону Урала. На юге и юго-западе она граничит с Донецко-Мангышлакской складчатой областью (мегавал Карпинского и Бузачинский свод). В ее пределах выделяют западную — погруженную и восточную — приподнятую части. Их границей служит долина р. Урал. На юго-востоке области, в Южно-Эмбенском поднятии, отсутствует соленосная толща (Кунгурский ярус), повсеместно развитая в области.

Т а б л и ц а 5.9

Сульфатные, хлоридные, бромные и сероводородные минеральные
А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Район	Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Хоперский	Хлоридные, сульфатно-хлоридные, сульфатные бромные	1. Девонский; в нижней части комплекса — песчаники, алевролиты и глины, в верхней части — известняки и доломиты с прослоями гипсов и ангидритов
	Хлоридные, бромные, сульфатные, хлоридно-сульфатные	2. Каменноугольный; известняки и доломиты
II. Пачелмский	Хлоридные, бромные	1. Рифейский; песчаники, алевролиты и глины с горизонтами туффитов и диабазов, встречаются известняки и доломиты
	Хлоридные, бромные сульфатные и сульфатно-хлоридные	2. Девонский; песчаники, известняки, доломиты с прослоями глин, гипсов и ангидритов
	Сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные	3. Каменноугольный; известняки, песчаники, алевролиты с прослоями мергелей и глин
III. Доно-Медведицкий	Хлоридные, бромные	1. Девонский; известняки и доломиты
	Хлоридные, бромные, сульфатные, хлоридно-сульфатные, сероводородные, борные, радоновые	2. Каменноугольный; известняки, доломиты, песчаники, глины
	Сульфатные, сульфатно-хлоридные, сероводородные	3. Пермский; известняки, доломиты, гипсы, ангидриты, песчаники, глины
	Сульфатные, сульфатно-хлоридные	4. Мезозойско-кайнозойский; пески, мергели, глины

воды и рассолы Рязано-Саратовской области (по Г. В. Куликову,

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения, источники, скважины
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Ca—Na, SO ₄ —Cl—Ca, SO ₄ —Cl—Ca—Na, SO ₄ —Na и Ca— Na; 2—200; 6— 7,5	Br (< 600)	20—60	Ржакса, скв. 236, Тамбов, скв. 21, 504
Cl—Na, SO ₄ — Ca—Na, Cl— SO ₄ —Ca—Na; 2—30; 6,5—7,5	Br (25—200)	10—30	Балашов
Cl—Ca—Na; 200—300; 5,5—6	Br (> 400)	50—70	Ряжск, села Красивка и Мосолово
Cl—Na, Cl—Ca— Na; SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na; 2— 220; 5,5—6	Br (600—1000)	20—60	Санаторий «Хопровские зори», скв. 2/81
Cl—Na, SO ₄ — Cl—Na, SO ₄ —Na; 2—10; 6—7,5	—	10—25	Санаторий «Хопровские зори», скв. 1/81
Cl—Ca—Na; 150—200; 5,5—6,5	Br (< 700)	30—60	Нижние Коробки Волгоградской области, скв. 73
Cl—Ca—Na, Cl— SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Ca—Na; 2,0—200,0; 6,0— 7,5	Br (< 700); H ₂ S (20—300); H ₃ BO ₃ (< 100); Рп (< 500)	10—30	Клиновка Волгоградской области, Саратов, Камышин, Иловля
SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Ca— Na; 2,0—10,0; 6,5—7,5	H ₂ S (2—100)	10—15	Верхние Коробки Волгоградской области, скв. 9-в
SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Ca— Na; 2,0—5,0; 7,0— 7,5	—	10—12	Плотников Волгоградской области, скв. 44

Прикаспийская синеклиза представляет собой крупную нефтегазоносную область СССР. В связи со сложностью геологического строения и слабой гидрогеологической изученностью области не представляется возможным в ее пределах выделить районы минеральных вод (рис. 5.11).

В региональном плане Прикаспийская область характеризуется повсеместным распространением сульфатных, сульфатно-хлоридных и хлоридных вод и рассолов. Они содержат повышенные концентрации йода, брома и местами бора. Локальное развитие имеют сероводородные воды. На ограниченных площадях Урало-Эмбенского поднятия предполагается распространение радоновых вод. Наибольшую практическую ценность для бальнеологии имеют минеральные воды верхнепермско-мезозойского и кайнозойского водоносных комплексов в отложениях надсолевой толщи (табл. 5.10).

Выделенные при региональном гидрогеологическом районировании Восточно-Европейской провинции области характеризуются распространением определенных типов минеральных вод.

1. Балтийская, Украинская и Воронежско-Белорусская области, расположенные в пределах древних щитов и массивов, отличаются широким распространением радоновых вод.

2. Днепровско-Донецкая, Волго-Уральская и Прикаспийская области, являясь нефтегазоносными, характеризуются преимущественным распространением сероводородных, йодобромных, сульфатных и хлоридных вод и рассолов.

Т а б л и ц а 5.10

Сульфатные, хлоридные, йодобромные с локальным развитием серо (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1986 г.)

Тип	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
Сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные, сероводородные, радоновые	Верхнепермско-мезозойский; песчано-глинистые, реже карбонатные отложения
Сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные, йодобромные, борные, сероводородные	Кайнозойский; песчано-глинистые отложения

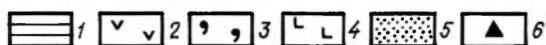
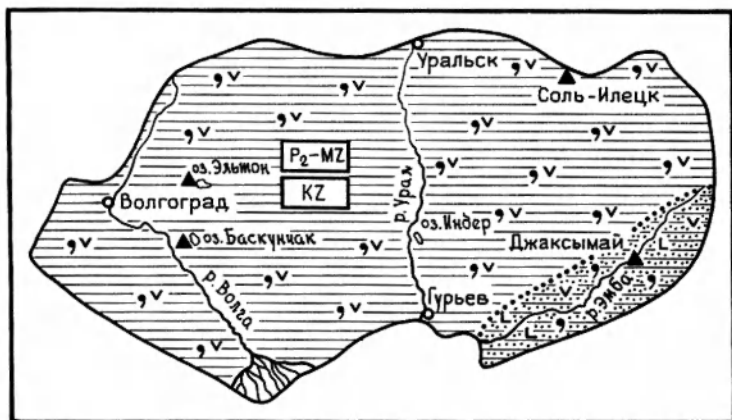


Рис. 5.11. Прикаспийская область сульфатных и хлоридных, иодобромных, сероводородных вод и рассолов.

Типы минеральных вод: 1 — сульфатные и хлоридные; 2 — иодобромные; 3 — сероводородные на локальных участках; 4 — радоновые на локальных участках. 5 — площадь отсутствия соленосной толщи перми; 6 — курорты и источники минеральных вод. P_2 -MZ, KZ — возраст основных водоносных комплексов

водородных и радоновых вод и рассолов Прикаспийской области

Физико-химическая характеристика			Основные месторождения
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Температура, °С	
SO_4 -Ca-Na, Cl-Na; 2-350; 6-7,5	Br (25-300; 1 (5-20); H_3BO_3 (<100); H_2S (200-300); Rn(300-500)	15-70	Соль-Илецкое, Челкар, нефтепромысел Джаксымай
SO_4 -Ca-Na, SO_4 -Cl-Na, Cl-Na; 2-285; 5,5-7,5	Br (25-117); I (5-27); H_3BO_3 (<100); H_2S (20-100)	10-15	Эльтон, Баскунчак

3. В Прибалтийской и Московско-Северодвинской областях, расположенных в пределах крупных впадин, преимущественное развитие имеют сульфатные и хлоридные бромные воды и рассолы.

4. Рязано-Саратовская и Причерноморско-Днестровская области содержат сероводородные и йодобромные воды в пределах нефтегазоносных структур или в районах, к ним прилегающих. В других районах развиты сульфатные и хлоридные бромные воды и рассолы.

Восточно-Европейская (Русская) древняя платформа представляет собой провинцию сульфатных и хлоридных, йодо-бромных, сероводородных и радоновых вод и рассолов.

5.2. Сибирская провинция

Провинция охватывает территорию Сибирской платформы. На западе она граничит по долине р. Енисея с Западно-Сибирской провинцией, на востоке ограничивается Верхоянским хребтом, на юге — Восточным Саяном и Байкальским нагорьем. На севере захватывает южный склон складчатых структур Южного Таймыра. В современной очертании платформа оформилась в мезозое. Она имеет, как и Восточно-Европейская платформа, дорифейский фундамент. Юго-восточный край ее занят Алдано-Становым, а северный — Анабарским щитами. Вся остальная часть характеризуется опущенностью фундамента до глубины 8—10 км и распространением мощного чехла, образованного верхне-протерозойскими и фанерозойскими отложениями.

В рифейский этап происходило внедрение основной и щелочно-основной магмы. В раннекембрийский период обширную площадь в пределах платформы занимал солеродный бассейн. В нем накопились мощные толщи солей, в том числе калийных. Обширное осадконакопление происходило в девонско-каменноугольный период. Девонско-каменноугольный комплекс сложен терригенными, карбонатными, сульфатными, галогенными и вулканогенными породами. Мощность их достигает 4 км. Базальтовый магматизм происходит в период с позднепермской до среднетриасовой эпохи. Комплекс вулканических пород образует на западе платформы трапповую формацию, а на севере и в центральной части Тунгусской синеклизы — лавовую толщу общей мощностью до 3 км. Юрские отложения напоминают молассу, сформированную в период мезозойской тектоно-магматической активизации. Мощность юрских отложений достигает 1,5 км. Юрско-меловой этап осадконакопления сопровождался активными про-

явлениями магматизма в юго-восточной части платформы. Магматизм этого этапа обусловил коренные отличия геологической истории Сибирской платформы от аналогичной ей Восточно-Европейской. Вследствие этого определились и особенности ее гидрогеологических условий. Кайнозойские отложения формировались в условиях выравнивания и омоложения рельефа Сибирской платформы. Представлены они озерными, аллювиальными, делювиально-пролювиальными, элювиальными и ледниковыми накоплениями суммарной мощностью 0,5 км.

Сибирская провинция минеральных вод характеризуется почти повсеместным развитием многолетней мерзлоты мощностью до 1,2 км в ее северных и восточных районах и значительно меньшей мощностью — до 0,15 км и островным ее распространением в юго-западной части. На основе анализа геологического строения, истории развития и гидрогеологических условий Сибирской провинции и результатов гидрогеологического районирования в ее пределах выделены шесть областей минеральных вод; Енисейская, Ленско-Вилюйская, Тунгусская, Анабарская, Южно-Таймырская и Алданская (см. рис. 4.1). Каждая область характеризуется присущими ей особенностями формирования и распространения минеральных вод (табл. 5.11).

Енисейская область минеральных вод занимает территорию Енисейского кряжа и представляет собой гидрогеологический массив. В ее пределах распространены пластово-трещинные и трещинно-жильные воды в докембрийских сланцах и конгломератах, нижнепалеозойских (кембрий, ордовик, силур) песчаниках и кварцитах. Широкое развитие имеют карстовые и трещинно-карстовые воды в карбонатных породах протерозоя и нижнего карбона (бассейны трещинно-карстовых вод). В пределах массивов гранитоидов распространены холодные радоновые, часто высокорадоновые воды (содержание радона варьирует от 185 до 3000 Бк/л), приуроченные к зонам региональных разломов, особенно к участкам пересечения тектонических нарушений и к древним конгломератам (ист. Ново-Каламинский). Распространены также купоросные воды. Формирование их обусловлено металлогеническими особенностями области. Химический состав вод различный, минерализация их невысокая.

Ленско-Вилюйская область минеральных вод занимает южную часть Сибирской провинции и объединяет два крупных бассейна — Ангаро-Ленский и Якутский [6]. Эта область богата различными типами минеральных вод.

В пределах области выделяются два гидрогеологических

Т а б л и ц а 5.11

Сибирская провинция сульфатных и хлоридных, йодобромных, бор с углекислыми водами и кремнистыми термами в областях тектоно-1987 г.)

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
Енисейская	Радоновые, гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные	Докембрийско-нижнепалеозойский; гнейсы, сланцы, конгломераты, кварцы и песчаники
Ленско-Вилуйская	Хлоридные, сульфатно-хлоридные рассолы, сероводородные, борные и бромные, радоновые	Палеозойский; карбонатные породы, песчаники, глинистые сланцы, отложения солей
	Сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатные	Мезозойский; песчаники, алевролиты, аргиллиты
Тунгусская	Хлоридные бромные рассолы и сульфатно-кальциевые воды	Верхнепротерозойско-палеозойский; галогенно-карбонатные отложения с пластами гипса и ангидрита
	Хлоридные воды и рассолы	Мезозойский; туфогенная толща (траппы), терригенно-карбонатные отложения
Анабарская	Радоновые сульфатно-хлоридные и хлоридные воды и рассолы	Допалеозойско-нижнепалеозойский; гнейсы, сланцы, граниты и терригенные отложения
Алданская	Радоновые	Докембрийско-нижнепалеозойский; гнейсы, сланцы, гранит, конгломераты, песчаники
	Кремнистые термы	
	Углекислые	
	Сульфатные кальциево-натриевые	Мезозойский; песчано-глинистые, углистые отложения, туфы, кислые эффузивы

ных, сероводородных и радоновых минеральных вод и рассолов магматической активизации (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову,

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения и источники минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
HCO ₃ —Ca—Na, HCO ₃ —SO ₄ —Na; < 2; 5,5—8	Rn (185—3000)	5	Ново-Каламинский
Cl—Na, Cl—Ca, SO ₄ —Cl—Na; < 600; 5,5—7	B (< 6000); Br (25—2000); H ₂ S (10—2000); Rn (< 5500)	5—20	Курорт Усолье, Иркутск, Даниловские источники, курорт Нукуты, Мирный, Половина, курорт Усть-Кут, Каймоново
SO ₄ —HCO ₃ — Ca—Na, Cl— HCO ₃ —Ca—Na; 1—5; 6—7,5	—	5—60	Вилуйск, Якутск, Ангарск, Сангары, Бахынай
Cl—Ca, Cl—Ca— Na, Cl—Na; 10— 300; 5—6,5	Br (< 7000)	5—100	Источник в устье р. Верхние Туруки, источник в верховье р. Тимофей Юрях, Норильск
SO ₄ —Ca; 1—3; 6,5—7,5	—	0—5	Дудинка, Нордвик
Cl—Na; 10—200; 5,5—7	—	5—20	
Cl—Na—Ca; 1— 5; 6,5—7,5	—	0—5	Источник в устье р. Укикит, Тутончанский, Оскоба
SO ₄ —Cl—Na; Cl—Na; < 50; 6—6,5	Rn (< 1500)	0—15	Отдельные источники
HCO ₃ —SO ₄ — Ca—Mg; < 1; 7—7,5	Bn (< 3700)	0—5	Элькон
SO ₄ —Cl; < 2; 6,5—7,5	H ₂ SiO ₃ (50—200)	20—55	Источник в устье р. Тунгурча
HCO ₃ —Na; 5—7; 6,5	CO ₂ (< 2000); H ₂ SiO ₃ (100— 170)	10—20	Источник Плотинный
SO ₄ —Ca—Na; 2—4; 6,5—7	—	5—15	Источник в долине р. Горбылах

комплекса — нижнепалеозойский и тунгусский. Карбонатные породы нижнепалеозойского комплекса сильно закарстованы и обладают высокой водообильностью, дебит источников достигает несколько литров в секунду. С глубиной минерализация вод повышается до рассолов хлоридных натриевых бром- и борсодержащих (бора до 6 г/л). Источником солей в водах являются широко распространенные в нижнем палеозое соленосные толщи. Состав вод хлоридно-сульфатный, сульфатно-хлоридный и хлоридный кальциево-натриевый и натриевый. Воды тунгусского комплекса в основном пресные или слабominерализованные. По составу они отличаются большим разнообразием. В мезозойских отложениях выделяются гидрокарбонатные кальциевые, магниевые-кальциевые, сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые и другие воды.

На участках антиклинальных поднятий в нижнекембрийских отложениях распространены сероводородные воды (источники г. Иркутска, а также сел Большого Разводного, Нового Усолья, Половины, Тыпты, Нукут и др.) с содержанием сероводорода от 10 до 250 мг/л и даже до 2 г/л. Широко развиты хлоридные кальциевые рассолы (источники Тырети, Осы, Балыхты и др.). Встречены слаборадоновые воды (ист. Усть-Кут).

Тунгусская область минеральных вод включает Тунгусский, Оленекский, Хатангский и Котуйский бассейны. В верхнепротерозойских и нижнепалеозойских галогенно-карбонатных и терригенно-карбонатных толщах (в южных районах с пластами гипса и ангидрита) развиты крепкие хлоридные бромсодержащие рассолы. По составу они многокомпонентные хлоридные кальциевые и кальциево-натриевые с содержанием брома до 7, калия до 65, стронция до 7 г/л и др. В верхней части разреза воды и рассолы холодные. Мощность мерзлой зоны в области достигает 500 м. Рассолы с температурой 37—100°C распространены на глубинах более 1,5 км. Низкие коллекторские свойства пород и очень высокая минерализация — препятствия для широкого использования термальных рассолов.

Анабарская область минеральных вод охватывает Анабарский массив, в пределах которого выходят на поверхность кристаллические породы архейского возраста и краевые зоны Оленекского, Котуйского и Тунгусского бассейнов, прилегающие к массиву с неглубоким залеганием кристаллических пород. Область включает гидрогеологический массив и зону сочленения трех крупных бассейнов. Подмерзлотные трещинные воды Анабарского щита находятся на глубине

более 400 м. Здесь могут формироваться холодные радоновые воды. В зоне сочленения бассейнов в толщах осадочных пород чехла распространены гидрокарбонатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные воды. С глубиной минерализация увеличивается до 40 г/л и более, состав их хлоридный кальциево-натриевый.

Южно-Таймырская область минеральных вод включает Быррангскую и Нижне-Песинскую системы адмассивов и адбассейнов с пластово-трещинными, трещинно-пластовыми и карстово-трещинными холодными, в основном, водами в верхнепалеозойских и мезозойских осадочных породах. Здесь повсеместно распространена многолетняя мерзлота мощностью до 500 м и более. Состав вод различный.

Алданская область минеральных вод занимает территорию одноименного массива. В зонах выветривания и региональной трещиноватости архейских кристаллических пород развиты в основном пресные подмерзлотные воды. В зонах разломов на глубинах 0,5—1 км минерализация вод повышается от 1—3 до 10—12 г/л, состав их сульфатный и хлоридный. В пределах впадин в терригенно-карбонатных отложениях верхнего протерозоя и кембрия распространены трещинно-карстовые и трещинно-карстово-пластовые пресные и слабо-соленоватые воды. Мощность вечной мерзлоты здесь составляет 50—100 м, местами содержится множество сквозных таликов, через которые происходит пополнение подмерзлотных вод. В Алданском массиве формируются радоновые воды. В сейсмически активных зонах развиты кремнистые термы (группа Олекминских источников с температурой 51 °С). В западной части области, затронутой мезозой-кайнозойской активизацией, в зонах глубинных разломов встречаются углекислые минеральные воды. Металлогенические особенности области определили формирование купоросных вод.

Таким образом, в Сибирской провинции каждая область характеризуется присущими ей условиями формирования и распространения определенных типов минеральных вод. Для Енисейской области характерно распространение радоновых и купоросных вод различного химического состава. В Ленско-Вилюйской области развиты хлоридные, бромные и сероводородные воды и рассолы. Тунгусская область отличается от Ленско-Вилюйской отсутствием сероводородных вод. Анабарская область в пределах щита содержит радоновые воды, в периферийных ее зонах развиты солончатые и соленые воды различного состава. Алданская область содержит радоновые, углекислые, купоросные воды и кремнистые термы различной минерализации и химического состава.

Провинции минеральных вод молодых платформ: Скифско-Туранская, Западно-Сибирская и Большеземельская, как и провинции древних платформ имеют между собой много общих геолого-структурных черт и одновременно значительные различия в строении, истории развития и условиях формирования минеральных вод.

6.1. Большеземельская (Печорская) провинция

Большеземельская провинция минеральных вод охватывает территорию одноименной платформы. Системой глубинных разломов она отделена от Тиманского кряжа и Урало-Новоземельского выступа. Платформа имеет рифейский фундамент, сложенный слабометаморфизованными терригенными и карбонатными породами. Мощность их на западе платформы достигает 5 км, на востоке 7—8 км. Платформенный чехол представлен фанерозойскими отложениями. В его разрезе выделяют два структурных этажа: палеозойско-триасовый и мезозойско-кайнозойский. В основании нижнего этажа залегают пестроцветные терригенные лагунно-континентальные породы ордовика, выше — мергели, глины с пластами гипса и доломитов силура и песчано-глинистые отложения девона. Мощность девонской толщи достигает 2,5 км. В восточной части провинции к отложениям девона приурочены пласты углей. Карбон и нижняя пермь сложены доломитами и известняками. Отложения нижнего триаса представлены эвапоритовой и сульфатно-карбонатно-терригенной формациями. Мощность их во впадинах достигает 3 км. Верхняя пермь и триас сложены континентальной угленосной молассой. Мощность молассового комплекса в краевом прогибе доходит до 10 км.

Среди мезозойско-кайнозойских наиболее широко развиты континентальные отложения средней юры, морские глины верхней юры и континентальные песчано-глинистые отложения, перекрытые морскими глинами нижнего мела. Общая их максимальная мощность составляет 1,8 км. Отложения верхнего мела и палеогена отсутствуют. В нижнем плиocene началось опускание Печорской синеклизы и образовались ледниково-морские песчано-глинистые отложения мощ-

ностью до 100 м. Провинция нефтегазоносна. Залежи нефти связаны с отложениями палеозоя, а залежи бокситов и угля — с пермскими отложениями Воркутинской впадины. В отличие от других провинций молодых платформ Большеземельская характеризуется отсутствием заметного проявления процессов тектонической активизации в мезозой-кайнозое.

В связи со слабой гидрогеологической изученностью не представляется возможным выделить в пределах Большеземельской провинции области с различными условиями формирования и распространения минеральных вод. Большеземельская провинция выделяется [6] как Печорская артезианская область с двумя бассейнами: Печорским и Предуральским (см. рис. 4.1). Для всей провинции характерна отчетливо выраженная гидрогеохимическая зональность, заключающаяся в последовательном увеличении минерализации подземных вод с глубиной. Верхняя зона до глубины 100—350 м проморожена. Соленые воды распространены до глубины 600—1100 м, ниже они становятся рассолами. Минерализация вод, связанных с соленосными пермскими отложениями (Предуральский бассейн), достигает 250 г/л. В рассолах содержится бром (до 900 мг/л) и йод (до 46 мг/л).

В непосредственном приближении к Уралу, в адмассивах Чернышева и Чернова в известняках силура, девона и карбона, нарушенных тектоническими разломами, развиты пластово-трещинные, трещинно-карстовые и трещинно-жильные воды. В верхней части разреза они пресные, с глубиной минерализация повышается до 10—14 г/л. Воды содержат бром, радон и представляют собой большую бальнеологическую ценность (источник Пырва-Шор). В целом провинция характеризуется широким развитием минерализованных вод преимущественно хлоридного натриевого состава, часто обогащенных бромом и йодом. Встречаются хлоридные натриевые пресные воды (Воркутинский источник). В связи с нефтегазоносностью и широким распространением в разрезе мощных эвапоритовых толщ получили распространение сероводородные воды (табл. 6.1). В глубоких горизонтах воды являются термальными. Известны редкие источники железистых вод (до 22 мг/л железа).

6.2. Западно-Сибирская провинция

Провинция минеральных вод охватывает территорию Западно-Сибирской низменности и в геологическом отношении представляет собой обширную молодую платформу — область опусканий (с мезозоя), заполненную горизонтально

Таблица 61

Большеземельская провинция сульфатных, хлоридных, йодобромных и сероводородных минеральных вод и рассолов (по Г. В. Киликову, А. В. Жевакову, 1987 г.)

Тип минеральных вод	Огневой водонесный комплекс; его геологическая характеристика	Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники минеральных вод
		Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Следящие компоненты (содержание, мг/л; мг, Бк/л)	Температура, °С	
Хлоридные воды и рассолы, йодобромные воды и рассолы, сероводородные воды и рассолы	1. Палеозойско-триасовый; пестроцветные терригенно-карбонатные и соленосные отложения (песчаники, алевролиты, мергели, глины, известняки, гипсы, доломиты, соль)	Cl—Na—Ca, Cl—Na; 5—250; 5—6,6	I (<46), Br (<30), H ₂ S (20—150)	10—60	Нарьян-Алар, Ижма, Ухта, Савичюр, Подымейское месторождение, Веселый
Гидрокарбонатно-хлоридные кремнистые		HCO ₃ —Cl—Na; <2; 7,0—7,5	H ₂ SiO ₃ (50—150)	20	Воркута, Варгашское месторождение
Сульфатно-хлоридные		SO ₄ —Cl—Na—Ca; 2—5; 7—7,5	—	5—10	Яней-Гывинское месторождение
Хлоридные и йодобромные	2. Мезозойско-кайнозойский; континентально-и морской песчано-глинистые отложения	Cl—Na; 5—20; 6,5—7	I (5—20); Br (25—100)	5—10	Тобседа, источник в верховьях р. Шапкина

залегающими толщами мезозойских и кайнозойских осадочных пород. На северо-западе и западе она ограничена Уральским и Новоземельским выступами герцинских структур, на юго-востоке — Казахстано-Алтайским и Кузнецко-Саянским выступами складчатых систем. На востоке примыкает к Сибирской платформе. На юго-западе отделена от Скифско-Туранской платформы Кустанайской седловиной.

Фундамент Западно-Сибирской провинции разновозрастной: в Предуральской части — герцинский, в Приенисейской — байкальский, на юге — каледонский и герцинский. В центральной и северной частях предполагается наличие докембрийского фундамента. В основании платформенного чехла залегает комплекс терригенных континентальных триасово-нижнеюрских отложений, заполняющих систему рифтовых впадин.

Юрско-кайнозойский комплекс перекрывает рифты и залегает несогласно на разновозрастных складчатых системах. На севере провинции мощность чехла достигает 8 км. В южном направлении и к окраинным зонам провинции мощность его уменьшается до 2,5 км. В отложениях юры и нижнего мела на юго-востоке имеются крупные залежи угля Канско-Ачинского топливно-энергетического комплекса (КАТЭК).

В гидрогеологическом отношении провинция представляет собой крупный артезианский бассейн. В ее строении выделяют 2 гидрогеологических этажа, разделенных мощным (до 800 м в центральной части) мел-палеогеновым водоупором. Нижний гидрогеологический этаж объединяет водоносные комплексы юрских и меловых отложений, залегающие в центральной части провинции на глубинах 1000—3000 м и более, а в периферийных частях — вблизи поверхности. Величины напоров в них достигают 2—2,5 км, а в пониженных участках наблюдается фонтанирование скважин.

Проницаемость отложений уменьшается от периферийных частей бассейна к центру от 15 до 0,01 м/сут; дебиты скважины — от 3,5 до 0,001 л/с. В краевых частях бассейна распространены пресные и слабоминерализованные воды. В направлении к центру минерализация вод повышается от 15 до 50—80 г/л. Воды содержат йод (до 33 мг/л) и бром (до 200 мг/л).

Верхний этаж объединяет водоносные комплексы эоценовых, верхнеолигоценых, неогеновых и четвертичных отложений. Водовмещающие породы характеризуются более высокими значениями коэффициентов фильтрации, которые изменяются от 0,1 до 50 и даже 200 л/сут, а удельные дебиты скважин от 0,01 до 5—7 л/с. Воды в основном пресные и

слабоминерализованные гидрокарбонатного состава и лишь на отдельных участках затрудненного питания, минерализация их достигает 3—10 г/л.

Провинция высоконефтегазоносна. Нефтегазоносность связана в основном с юрскими и меловыми отложениями. Западно-Сибирская провинция характеризуется интенсивным проявлением процесса мезозойской активизации. Повышенные величины тепловых потоков зафиксированы в зонах глубинных разломов и выходов на доюрскую поверхность докембрийского палеозойского фундамента. Значения величин теплового потока повышаются в направлении с севера-северо-запада на юг-юго-восток. Наибольшие значения установлены в зонах, примыкающих к Уральскому подвижному поясу и северному склону Колывань-Томской гряды. Именно в пределах этих зон на отдельных участках выявлено распространение углекислых минеральных вод. Формирование их происходит по-видимому за счет поступления углекислого газа по зонам глубинных разломов из карбонатных пород складчатого фундамента, находящихся в условиях повышенного термического режима.

Разрез платформенного чехла представлен исключительно континентальными и морскими глинистыми и песчано-глинистыми отложениями. Поэтому, несмотря на то, что Западно-Сибирская провинция характеризуется высокой нефтегазо-

Т а б л и ц а 6.2

Западно-Сибирская провинция гидрокарбонатно- и сульфатно-хлоридных минеральных вод (по А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
Приенисейско-Иртышская	Гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные, йодо-бромные Углекислые гидрокарбонатно-хлоридные	Юрско-меловой; глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, пески
	Гидрокарбонатно-хлоридные и сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные	Эоцен-четвертичный; песчано-глинистые отложения
Обско-Тазовская	Гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные, йодо-бромные	Юрско-меловой; глинистые сланцы, песчаники, алевролиты, пески

ностью, из-за отсутствия в разрезе ее чехла эвапоритовых отложений, сероводородных вод не формируется. В этом заключается ее главное отличие от других провинций молодых платформ — Скифско-Туранской и Большеземельской.

В пределах Западно-Сибирской провинции выделяют две области минеральных вод: Приенисейско-Иртышскую и Обско-Тазовскую с присущими им особенностями формирования и распространения минеральных вод (см. рис. 4.1).

Приенисейско-Иртышская область термальных минеральных вод различного состава и минерализации охватывает окраинные зоны Западно-Сибирской провинции. Она характеризуется широким развитием положительных структур, сокращенным разрезом отложений мезозоя, отсутствием или сокращением мощности водоупорных толщ. Водоносные горизонты в ее пределах сложены более грубозернистым материалом по сравнению с центральной частью провинции. Вследствие этого происходят более интенсивный водообмен и инфильтрация атмосферных осадков. В этой области преобладают пресные и солоноватые воды. Соленые воды и рассолы развиты только в глубоких горизонтах. Состав вод в зависимости от величины минерализации гидрокарбонатный, сульфатный, сульфатно-хлоридный с незначительным содержанием брома и йода. Соленые воды имеют хлоридный натриевый состав (табл. 6.2).

ридных, йодобромных и углекислых вод (по Г. В. Куликову,

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники минеральных вод
Основной химический состав: минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na, HCO ₃ — —Cl—Na; 5—35; 6,5—7,5	I (5—35); Br (25—150)	20—80	Картымское, Тавда, Омск, Маковское, Шаим
HCO ₃ —Cl—Na; 20—35; 7—7,5	CO ₂ (2000— 10 000); I (5—20)	60—80	
HCO ₃ —Cl—Na, SO ₄ —HCO ₃ — —Cl—Na; 2—10; 6,5—7,5	—	10—20	Источник у оз. Медвежье
HCO ₃ —Cl—Na, Cl—Na; 10—75; 6,5—8	I (5—55); Br (25—250)	20—110	Тюмень, Тобольск, Ханты-Мансийск, Колпашево

Обско-Тазовская область термальных минеральных вод охватывает центральную часть крупного Западно-Сибирского бассейна. Отличается от Приенисейско-Иртышской области более полным геологическим разрезом, наличием мощных региональных водоупоров. Представляет собой огромную чашеобразную депрессию, которая развивалась как единый регион с юрского периода до настоящего времени. Область характеризуется широким распространением термальных минеральных вод (с температурой 35—100 °С). В верхней зоне регионально развиты гидрокарбонатные щелочные воды, приуроченные к песчаным континентальным отложениям. В глубоких горизонтах воды имеют хлоридный состав, в южной части со значительным количеством сульфатов. Хлоридные соленые воды и рассолы характеризуются значительными концентрациями йода (55 мг/л) и брома (160 мг/л).

6.3. Скифско-Туранская провинция

Провинция охватывает территорию Скифской, Южно-Туранской и Северо-Туранской платформенных областей.

Северное ограничение Скифской плиты — зоны разломов, отделяющие ее от Восточно-Европейской платформы. Южная граница определяется северным краевым глубоководным прогибом Черноморской впадины, далее на восток альпийскими краевыми прогибами, отделяющими ее от молодых горно-складчатых сооружений Крыма и Большого Кавказа. Наиболее крупная часть Скифской плиты — Предкавказье. Фундамент здесь залегает на глубинах до 12 км. В пределах Предкавказья выделяют Ставропольское поднятие, Азово-Березанский вал, зону Маньчских прогибов и др. Фундамент имеет гетерогенное строение, образован допалеозойскими массивами, разделенными складчатыми палеозойскими геосинклинальными образованиями. В состав фундамента входят дислоцированные верхнепалеозойские и нижнетриасовые отложения. В пределах Равнинного Крыма скважинами вскрыты позднепротерозойские — раннепалеозойские сланцы. Среднепалеозойские образования представлены терригенно-карбонатными породами. В отдельных местах в строении фундамента принимают участие верхнепалеозойские карбонатный и красноцветный терригенный молассовый комплексы.

Чехол Скифской плиты образован двумя основными комплексами. Нижний — сложен дислоцированными триасовыми и раннеюрскими отложениями, имеющими в грабенообразных впадинах большие мощности; верхний (собственно комплекс

чехла) — представлен базальными горизонтами от юрского до раннемелового возраста. Нижний комплекс в Предкавказье сложен преимущественно терригенно-глинистыми сильно дислоцированными и метаморфизованными до стадии сланцев отложениями, а в восточной части Скифской плиты — неметаморфизованными карбонатно-терригенными и вулканогенными образованиями. Верхний комплекс делится на три этажа: 1) песчано-глинистые отложения средней юры мощностью до 2 км (Западное Предкавказье); 2) карбонатно-терригенные и эвапоритовые отложения верхней юры, терригенные — нижнего мела, глинисто-карбонатные — верхнего мела, палеоцена и эоцена, а также песчано-глинистые отложения олигоцена — нижнего миоцена общей мощностью до 5 км; 3) терригенно-карбонатные отложения среднего миоцена — антропогена мощностью до 2 км.

Южно-Туранская плита на западе ограничивается Каспийским морем, на юго-западе и юге — структурами Средиземноморского складчатого пояса (Копетдагом, Большим Балханом, Кубадагом и Памиром), на востоке примыкает к Гиссарскому хребту Урало-Монгольской горно-складчатой системы. Северная граница проходит по Мангышлак-Гиссарской зоне крупных глубинных разломов. В западной части Южно-Туранской плиты находятся Предкопетдагский и Мургабский глубинные прогибы с погружением фундамента до 15 км, а также Южно-Мангышлакский, Учтаганский и Хивинский, где фундамент опущен до 10 км. В восточной части находится крупная Афгано-Таджикская впадина. В пределах плиты прослеживаются сводовые поднятия: Карабогазское, Центрально-Каракумское, Бадхыз-Карабильское, соответствующие выступам фундамента.

Фундамент образован допалеозойскими массивами и разделяющими их складчатыми зонами герцинского и частично раннекиммерийского возраста. Складчатые герцинские зоны сложены метаморфизованными песчано-глинистыми, карбонатными, кремнистыми, а также магматическими породами среднепалеозойского возраста, молассовыми образованиями верхнего карбона, перми и нижнего триаса.

Чехол Туранской плиты слагают четыре структурных этажа: 1) верхнетриасово-нижнеюрский — терригенные угленосные отложения мощностью более 2 км, заполняющие широкие впадины в западной и южной частях; 2) среднеюрский-нижнемиоценовый — терригенные континентальные (угленосные) и морские терригенно-карбонатные, соленосные, песчано-глинистые отложения мощностью 1—4 км; 3) среднемиоценовый-нижнеплиоценовый — морские карбонатные и

песчано-глинистые, континентальные песчано-глинистые отложения мощностью до 1 км; 4) верхнеплиоценовый-четвертичный — континентальные терригенные и морские отложения мощностью от десятков до первых сотен метров.

Для Скифско-Туранской плиты характерно резкое преобладание киммерийской складчатости. Альпийская проявилась слабо и только первыми ее фазами. Обособление плит произошло в результате палеозойского геосинклинального развития и герцинской складчатости. В современных границах они сформировались в течение юры и раннего мела. Эти области характеризуются неотектонической активизированностью и повышенным тепловым режимом.

Северо-Туранская плита занята отрицательными структурами — Тургайской синклизой с неглубоким (0,2–0,3 км) залеганием пород фундамента и Челкарским прогибом. В северо-восточной части фундамент образован коледонской, а на северо-западе — герцинской системами складчатости. Граница между каледонидами и герцинидами прослеживается по Туранскому разлому. В разрезе платформенного комплекса выделяют два этажа: триасовый и юрско-кайнозойский. Триасовые отложения представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, содержащими туфовый материал. Мощность их во впадинах достигает 2 км. Образования этого этажа относятся к раннеплатформенным. Юрско-кайнозойские отложения залегают несогласно на фундаменте, а в отдельных местах — на триасовых отложениях. Юрско-кайнозойский комплекс подразделяется на две части — нижнюю (юрские, меловые и палеогеновые отложения) и верхнюю (верхний олигоцен — антропоген). Юрские отложения представлены угленосными формациями, в верхах юры — глинисто-карбонатными и песчано-глинистыми толщами. Мощность их изменяется от 200 до 1200 м. Меловые толщи сложены континентальными и морскими отложениями (пески, глины, известняки с линзами гипса) мощностью до 1,5 км.

В пределах Скифско-Туранской провинции выделяют три области минеральных вод: Скифскую, Южно-Туранскую и Северо-Туранскую (см. рис. 4.1).

Скифская область минеральных вод включает Причерноморский, Азово-Кубанский и Терско-Каспийский артезианские бассейны. В верхней части разреза Причерноморского бассейна до глубины 350 м развиты пресные, в основном гидрокарбонатные воды. Ниже, до 1,5 км распространены слабо соленые и соленые воды хлоридно-натриевого, гидрокарбонатно-хлоридного и сульфатно-хлоридного натриевого составов. Глубже 2 км вскрыты хлоридные натриевые и

кальциево-натриевые рассолы с минерализацией до 80—200 г/л, обогащенные йодом и бромом. Температура вод на глубинах 2,5—3 км достигает 120 °С. В Азово-Кубанском бассейне (в верхней зоне) распространены пестрые по составу и минерализации воды. В глубоких горизонтах, из-за наличия в разрезе галогенных пород, минерализация рассолов достигает 140—350 г/л. Соленые воды и рассолы неогеновых, палеогеновых и меловых отложений содержат высокие концентрации йода и брома. На глубинах 1,5—2 км температура вод достигает 100 °С, а на глубине более 4 км — 170 °С.

В Терско-Каспийском бассейне гидрохимический разрез также характеризуется сменой в верхней зоне пресных и слабосоленых вод на слабые и крепкие рассолы в глубоких горизонтах. Крепкие рассолы связаны с распространением галогенных пород. Они являются термальными. Обогащенность соленых вод и рассолов йодом и бромом характерна для всей Скифской области. Широкое распространение имеют в области сероводородные воды. На участках, прилегающих к структурам альпийской складчатости, в водах содержится значительное количество углекислого газа. В Скифской области широко распространены йодо-бромные хлоридные натриевые термальные воды и рассолы. На большей ее площади развиты сероводородные воды (табл. 6.3).

Южно-Туранская область минеральных вод включает Устюртский, Среднекаспийский, Южно-Каспийский и Туркменский (Амударьинский) артезианские бассейны. Южно-Туранская область, как и Скифская, развивалась под активным воздействием геосинклинального режима альпийской складчатой области. Устюртский, Среднекаспийский бассейны и западная часть Туркменского характеризуются общностью геолого-структурных и гидрогеологических особенностей. В мезозой-кайнозойских песчано-глинистых и карбонатных отложениях прослеживаются региональные водоупорные глинистые толщи верхней юры, апта, турона и олигоцена, разделяющие водоносные комплексы: пермо-триасово-юрский, неоком-аптский, альб-сеноманский, эоценовый и неоген-четвертичный. Минерализация вод с глубиной залегания водоносных горизонтов увеличивается с 1—5 до 270 г/л и состав их изменяется от сульфатного до хлоридного натриевого и кальциево-натриевого с содержанием брома, йода и бора [1]. Формирование крепких рассолов (с минерализацией до 400 г/л) обусловлено широким распространением, особенно в Туранском бассейне, соляно-гипсовых пород. Температура рассолов на глубине 3—3,5 км достигает 140 °С. Южно-Туранская область нефтегазоносна.

Т а б л и ц а 6.3

Скифско-Туранская провинция сульфатных и хлоридных, йодобром кремнистых терм (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
Скифская	<p>Хлоридные бромные воды и рассолы</p> <p>Хлоридные йодобромные рассолы</p> <p>Сульфатно-хлоридные, хлоридные, йодобромные, борные, сероводородные, слаборадоновые и рассолы, кремнистые термы</p> <p>Сульфатно-хлоридные и сероводородные</p>	<p>1. Палеозойско-триасовые терригенно-карбонатные и вулканогенные образования</p> <p>2. Среднеюрский; песчано-глинистые отложения</p> <p>3. Верхнеюрско-палеогеновый; терригенно-карбонатные и эвапоритовые отложения</p> <p>4. Неоген-четвертичный; терригенно-карбонатные отложения</p>
Южно-Туранская	<p>Хлоридные, йодобромные, борные, сероводородные</p> <p>Хлоридные, сульфатно-хлоридные, йодобромные, борные, сероводородные</p> <p>Хлоридные, хлоридно-сульфатные, редко сероводородные</p>	<p>1. Пермо-триасово-среднегорский; песчаники, алевролиты, глины, известняки и солено-гипсовые отложения</p> <p>2. Меловой; пески, мергели, песчаники, алевролиты</p> <p>3. Палеоген-четвертичный; континентальные терригенные и морские отложения</p>
Северо-Туранская	<p>Хлоридные гидрокарбонатно-хлоридные и сульфатно-хлоридные, бромные</p> <p>Гидрокарбонатные, сульфатные и хлоридные, бромные, сероводородные, радоновые воды и кремнистые термы</p> <p>Гидрокарбонатные сульфатные и сульфатно-хлоридные</p>	<p>1. Пермо-триасово-юрский; песчаники, конгломераты, алевролиты, эффузивные породы</p> <p>2. Меловой; песчаники, пески, глинистые известняки, конгломераты</p> <p>3. Палеоген-четвертичный; пески, гравелиты, галечники, песчаники, алевролиты, глины</p>

ных, борных, сероводородных и радоновых минеральных вод и

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники минеральных вод
Основной химический состав; минерализация M , г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na, Cl—Ca—Na; $10 < M < 200$	Br (25—100)	35—170	Евпатория
Cl—Na; $100 < M < 220$	I (5—40); Br (25—700)	35—150	Отдельные скважины Предкавказья
Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na, HCO ₃ —Cl—Na, SO ₄ —Na; 2—350; 6,7—7,5	I (5—60); Br (25—2000); H ₂ S (20—100); H ₂ SiO ₃ (50—120) Рп (<750); В (50—200)	20—100	Майкоп, Горячий Ключ, Элиста, Шаргодьк
HCO ₃ —Cl—Na, Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na; 2—10; 7—7,5	H ₂ S (20—50)	10—20	Затока, Ейск, Маныч, Ростов, Лысый Лиман
Cl—Na; < 450 ; 5—7,5	I (5—200); Br (<2000); H ₂ S (50—500); В (50—200)	30—140	Байрам-Али, Мары, Бухара, Карши, Гаурдак
Cl—Na, Cl—Na—Ca, Cl—SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na; 2—200; 6,5—7,5	I (5—30); Br (50—550); H ₂ S (20—250); В (50—100)	20—70	Шевченко, Актумсук, Казы, Агарбулак, Лючеб, Файзабад
Cl—Na, Cl—SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na; 2—100; 7—7,5	H ₂ S (20—250)	20—35	Теджен, Балкудук, Джаны-Куйды
HCO—Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—240; 7—8	Br (25—100)	25—50	Челкар, Аральск
Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na, Cl—SO ₄ —Na; 1—60; HCO ₃ —Na, SO ₄ —HCO ₃ —Na—Ca; $7 < \text{pH} < 8,5$	Br (25); H ₂ S (10—100); Рп (<1000); H ₂ SiO ₃ (50—150)	20—70	Заравшан, Нагорное, Ташкент, Иргиз
HCO ₃ —Ca, HCO ₃ —Na, HCO ₃ —SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na, Cl—SO ₄ —Na; 1—70; 7—8	—	20—50	Шолоксай, Ахангаран, Бешбулак

Газовый состав вод и рассолов в основном метановый, встречаются сероводородные воды (Бухаро-Каршинский, Гаурдакский бассейны). Для рассолов Туркменского бассейна характерно наличие рудных элементов.

Северо-Туранская область минеральных вод включает Сырдарьинский, Чу-Сарысуйский и Тургайский артезианские бассейны. Ее геологическое строение и история развития резко отличаются от Южно-Туранской и Скифской областей. Глубина фундамента здесь не превышает 1,5—3 км. Чехол ее сложен преимущественно терригенными породами мощностью 1—2,5 км. Зона пресных вод распространяется до глубины 2 км (Приташкентский район). Даже на глубинах 0,8—2,2 км минерализация вод составляет 0,6—10 г/л. Состав соленых и соленых вод преимущественно сульфатно-хлоридный и хлоридный магниево-натриевый и натриевый.

В Чу-Сарысуйском бассейне, где развиты галогенные породы, минерализация вод достигает 240 г/л. В восточной части бассейна галогенные породы отсутствуют и минерализация вод глубоких горизонтов не превышает 35 г/л.

В Сырдарьинском и Тургайском бассейнах минерализация вод глубоких горизонтов обычно ниже 35 г/л и лишь в отдельных участках достигает 70 г/л. Пресные воды в мощной верхней зоне гидрокарбонатные, термальные. В Чу-Сарысуйском бассейне на глубине 0,5 км вскрыты воды с температурой 50 °С. Наиболее высокими геотермическими градиентами отличается Сырдарьинский бассейн (от 4,5 до 5,6 °С на 100 м). В Приташкентском бассейне он снижается до 2,4 °С/100 м. Газовый состав вод кислородно-азотный и азотный. В целом область характеризуется широким распространением термальных кремнистых вод различной минерализации (преимущественно пресных и слабосоленых) и химического состава. В пределах области находится система гидрогеологических массивов и межгорных артезианских бассейнов Центральных Кызылкумов (Букантау, Тамдытау, мультобразные прогибы Минбулакский, Карагатинский и др.). В тектонических нарушениях в зонах гранигоидных интрузий этих массивов распространены радоновые воды. Радоновые воды распространены также в краевых частях межгорных бассейнов. Формирование их связано с концентрированием радиоактивных элементов на сероводородном геохимическом барьере (месторождение радоновых вод «Нагорное»).

Таким образом, в пределах Скифско-Туранской провинции минеральных вод выделяют три области: Скифскую, Южно-Туранскую и Северо-Туранскую. Первые две области

в геологическом развитии находились под непосредственным воздействием альпийской складчатости, нефтегазоносны и характеризуются широким распространением сероводородных, йодобромных, борных, хлоридных, натриевых термальных вод и рассолов. Северо-Туранская область отличается мощной зоной пресных термальных вод гидрокарбонатного состава. В глубоких горизонтах распространены термальные хлоридные воды и рассолы. На отдельных участках (локально) встречаются радоновые воды.

**МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ ДРЕВНИХ
ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ****7.1. Урало-Монгольская провинция**

Провинция расположена между Восточно-Европейской, Западно-Сибирской и Скифско-Туранской платформами. На юге она граничит с Южным Памиром — структурой Средиземноморского пояса. В геологическом отношении провинция представляет собой древнюю горно-складчатую область. Ее главные структурные элементы — выступы складчатого фундамента: Урало-Тимано-Новоземельский, Казахстано-Тянь-Шаньский, Донецко-Мангышлакский, Кольванский, Байкальский, Северо-Таймырский.

Комплекс основания этой системы включает три структурных этажа: дорифейский, рифейский и вендско-кембрийский, выходящие на поверхность в глыбовых поднятиях и антиклинориях. Мощность комплекса достигает 22 км.

Главный геосинклинальный комплекс представлен также тремя структурными этажами: нижний включает отложения ордовика; средний — силура, нижнего и среднего девона; верхний — верхнего девона. Мощность комплекса более 10 км.

Орогенный комплекс связан с внедрением герцинских гранитоидов. В межгорных впадинах внутренней зоны Урало-Тимано-Новоземельского выступа комплекс сложен конгломератами, гравелитами, песчаниками, алевролитами с прослоями мергелей и известняков. Во внешней западной зоне Урала комплекс представлен молассой. Наземными вулканами образован Варельяновский вулканический пояс, перекрытый чехлом мезозойских и кайнозойских отложений. В пределах северного участка Пайхой-Новоземельский орогенный комплекс сложен отложениями перми и триаса. Эвгеосинклинальные формации в этой зоне отсутствуют. Мезозой-кайнозойские отложения на Урале имеют незначительное распространение и представлены во впадинах континентальными накоплениями: глинами, песчаниками, алевролитами с залежами бурого железняка, осадочными рудами никеля, кобальта, молассовой формацией. В Донецко-Мангышлакской зоне фундамент представляет собой геосинклинальный прогиб в кристаллическом ложе, заполненный мощными толщами осадочных пород верхнего и среднего палеозоя. Наиболее широкое распространение имеют сильно

дислоцированные каменноугольные отложения. Максимальная мощность осадочного чехла достигает 18 км. На отдельных участках толщи осадочных пород прорваны интрузиями верхнедевонского, пермо-триасового и юрского возраста.

В Казахской складчатой системе орогенный комплекс представлен молассой верхнего ордовика и силура. Переходный комплекс сложен отложениями девона, карбона и перми.

Крупные срединные массивы этой системы раздроблены на блоки. На приподнятых блоках выходят на поверхность архейские и нижнепротерозойские сильно метаморфизованные породы фундамента — гнейсы с прослоями кварцитов и мраморов, вулканогенные и эффузивные (дациты и липариты) образования, линзы конгломератов. Мощность комплекса составляет 6—6,5 км. Многие глыбы перекрыты орогенными формациями девона, карбона и перми. Этими же отложениями выполнены крупные наложенные впадины: Тенгизская, Джекказгано-Чуйская и др. Средний и верхний карбон и пермь во впадинах представлены терригенной (иногда угленосной) и лагунной соленосной молассовой формациями. В центральных частях впадин мощность верхнепалеозойских отложений достигает 7 км.

Тянь-Шань-Байкальская система герцинской складчатости занимает южные части Казахстано-Тянь-Шаньского и Южно-Сибирского выступов. На востоке она охватывает Байкальское сводовое поднятие. По интенсивности проявления новейшей тектоники она отличается большей подвижностью по сравнению со стабильной Казахской складчатой системой и другими системами Урало-Монгольской горно-складчатой области.

Байкальская складчатая зона характеризуется как молодая сейсмическая область крупных тектонических впадин и высокогорных сооружений. Зоны глубоких тектонических разломов молодого возраста образуют несколько «термальных линий», протяженность которых измеряется многими десятками километров. Часто эти «термальные линии» приурочены к уступам горных сооружений. Проявление рифтогенеза, обусловившего образование Байкальской системы рифтовых впадин, началось в конце мела.

Тянь-Шань-Байкальская система складчатости значительно отличается от других областей Урало-Монгольской провинции историей геологического развития, режимом интенсивной тектонической активизации в мезозой-кайнозой, особенно в Байкальской рифтовой зоне. Указанные особенности геологического развития определили различия гидрогеологических условий Урало-Монгольской провинции. В ее

пределах выделены Урало-Тиманская, Донецко-Мангышлакская, Казахская, Тянь-Шаньская, Алтае-Саянская, Колыванская, Байкальская и Северо-Таймырская области минеральных вод (табл. 7.1, см. рис. 4.1).

Урало-Монгольская провинция характеризуется большим разнообразием минеральных вод, развитых в зонах тектонических нарушений горно-складчатых массивов и в крупных межгорных впадинах. Каждая область характеризуется определенными особенностями формирования и распространения минеральных вод. Значительным разнообразием минеральных вод характеризуются Тянь-Шаньская и Байкальская области, затронутые кайнозойской тектонической или тектономагматической активизацией. В их пределах развиты кремнистые термы, железистые (купоросные), радоновые и углекислые термальные и холодные воды. В крупных впадинах распространены сероводородные сульфатно-хлоридные и хлоридные, йодо-бромные и борные воды и рассолы.

Урало-Тиманская область минеральных вод охватывает Тиманскую и Уральскую гидрогеологические складчатые системы. На Тимане выделяют два гидрогеологических яруса. В первом ярусе, представленном сильно метаморфизованными и дислоцированными сланцами рифея, развиты трещинно-жильные воды, во втором, сложенном менее метаморфизованными породами палеозоя и мезозоя, — пластово-трещинные, трещинно-жильные и местами трещинно-карстовые воды. В верхней части разреза воды преимущественно пресные гидрокарбонатные кальциевые, в районах распространения гипсов и ангидритов — солоноватые сульфатные кальциевые и натриевые. С глубиной минерализация увеличивается, воды становятся слаборассольными хлоридно-натриевыми. В породах кристаллического фундамента и геосинклинального комплекса (метаморфические сланцы, конгломераты, гранитоиды) развиты радоновые и купоросные воды.

В структуре Урала прослеживается система массивов и межгорных впадин — артезианских бассейнов. В терригенно-карбонатных породах впадин распространены сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные воды слабо и сильно минерализованные. В зонах разломов кристаллических сланцев и гранитоидов развиты радоновые и купоросные воды различной минерализации и состава (источники: Липовка, Кисегач, Увильды, Гайский, Дегтярский и др.).

Донецко-Мангышлакская область минеральных вод включает структуры складчатого Донбасса и Мангышлака. Кристаллический фундамент вскрывается скважинами на стыке с Приазовским массивом УКЩ. В девонских песчаниках

на контакте с кристаллическими породами установлено широкое развитие радоновых вод. Концентрация радона в сульфатных и хлоридно-сульфатных водах достигает 6000 Бк/л (с. Ново-Троицкое). В межгорных артезианских бассейнах, выполненных терригенно-карбонатными угленосными отложениями карбона, минерализация вод увеличивается с глубиной от 1,5 до 50 г/л и более. При этом химический состав воды изменяется с сульфатного на сульфатно-хлоридный и хлоридный. Хлоридные воды высокой минерализации, обогащенные бромом, используются для лечебных целей в городах Ворошиловграде, Славянске, Славяногорске и др.

Особый интерес представляют рассолы выщелачивания каменной соли нижнепермского возраста. Участки развития хлоридных натриевых рассолов в приповерхностной зоне установлены в Артемовской впадине (г. Славянск). В этом же районе в породах свиты медистых песчаников, обогащенных полиметаллами (Cu, Zn, Pb) и радиоактивными элементами, встречены слаборадоновые и купоросные воды. На участках развития куполовидных структур Северо-Западного и Северного Донбасса с проявленной битуминозностью и нефтегазоносностью в пестроцветных осадках пермо-триаса установлены сероводородные воды с содержанием H_2S до 100 мг/л (Терновский, Славянский и другие купола). На локальных структурах отмечены слаборадоновые воды с концентрацией радона 185—400 Бк/л (Красноскольский купол). В центральной части Донбасса (Нагольный кряж), в зоне центральной антиклинали проявлено полиметаллическое и ртутное оруденение. В этих районах встречены купоросные воды. В направлении на восток породы палеозоя погружаются, перекрываясь отложениями мезозой-кайнозоя, и имеют локальные участки выходов на Мангышлаке. В мезозой-кайнозойском водоносном комплексе отдельными скважинами вскрыты сульфатно-хлоридные и хлоридные воды с минерализацией 2—10 г/л и более.

Глубокими скважинами в районах г. Элиста, ст. Улан-Хол и других пунктах в песчаниках мелового и палеогенового возраста установлены бромные рассолы хлоридного натриевого состава с минерализацией до 110 г/л и содержанием брома до 3000 мг/л.

Такого же типа минеральные воды и рассолы выявлены в районе Мангышлака. На отдельных куполовидных структурах с проявленной нефтегазоносностью возможно развитие сероводородных вод.

Казахская область минеральных вод включает Северо-Казахстанскую и Чингиз-Тарбагатайскую гидрогеологические

Т а б л и ц а 7.1

Урало-Монгольская провинция радоновых и железистых минераль-
 тектоно-магматической активизации и хлоридными сероводородны-
 кову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс: его геолого-литологическая характеристика
Урало-Тиманская	Гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные, радоновые	1. Рифей-палеозойский трещинно-жильных вод; граниты, гранитогнейсы
Донецко-Мангышлакская	<p>Сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные, железистые и йодобромные</p> <p>Сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные, радоновые</p> <p>Сульфатно-хлоридные, хлоридные, слаборадоновые, железистые, бромные</p> <p>Сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные, слаборадоновые, железистые, бромные</p> <p>Хлоридные, бромные воды, кремнистые термы</p> <p>Сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные бромные, реже йодобромные, сероводородные</p>	<p>2. Палеозойско-мезозойский трещинно-пластовых и трещинно-карстовых вод межгорных впадин; терригенно-карбонатные породы (песчаники, известняки, конгломераты)</p> <p>1. Девонский трещинно-пластовых вод; песчаники, конгломераты</p> <p>2. Каменноугольный трещинно-пластовых и трещинно-карстовых вод; известняки, песчаники</p> <p>3. Пермо-триасовый трещинно-пластовых и трещинно-карстовых вод; песчаники, алевролиты, каменная соль</p> <p>4. Юрско-меловой трещинно-пластовых и пластово-поровых вод; песчаники, мергели, пески</p> <p>5. Палеоген-неогеновый пластово-поровых вод; пески</p>
Казахская	<p>Сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные, радоновые, железистые, бромные воды и кремнистые гермы</p> <p>Сульфатные, сульфатно-хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридные, хлоридные, радоновые</p>	<p>1. Архей-палеозойский трещинно-жильных и трещинно-пластовых вод; граниты, гнейсы, сланцы, песчаники, туфы, фосфориты</p> <p>2. Мезозойский трещинно-жильных, трещинно-пластовых и порово-пластовых вод; граниты, песчаники, алевролиты, известняки, пески</p>

ных вод с кремнистыми термами и углекислыми водами в областях
ми. йодобромными водами в межгорных впадинах (по Г. В. Кули-

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения минеральных вод
Основной химический состав; минерализация <i>M</i> , г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
HCO ₃ —Ca—Mg, HCO ₃ —Cl—Mg— Na; 0,2—0,5; 6,5— 7,5	Rп (800—2000)	5—10	Увильды, Линовка
SO ₄ —Na, Cl— SO ₄ —Na—Mg, Cl—Na; 3—50; 4—6,5	Fe (10—4000); I (5—11); Br (25—150)	5—30	Дегтярское, Гайское, Талицкое, Нижние Серги
SO ₄ —Cl—Ca—Na, Cl—SO ₄ —Na—Ca; 2—5; 7—7,5	Rп (1000— 60 000)	8—12	Ново-Троицкое, Ни- колаевское
SO ₄ —Cl—Na, Cl— Na; 2—60; 6—7,5	Rп (<1000); Fe (10—3000); Br (25—250)	8—25	Луганское, Белоого- ровское
SO ₄ —Na, Cl— SO ₄ —Na, Cl—Na; 2—30; 6—7,5	Rп (<370); Fe (10—30); B (25—50)	8—15	Славяногорское, Сла- вянское, Адамовское, Веселая гора
Cl—Na; 2—100; 7,5—7,7	Br (20—200); H ₂ SiO ₃ (35—50)	20—60	Шевченко, Элиста, Ералиево
SO ₄ —Na, SO ₄ — Cl—Na, Cl—Na; 2 < <i>M</i> < 50	Br (20—150); I (5—15); H ₂ S (20—35)	10—20	Комсомольский, Эли- ста, Токмаксор
SO ₄ —Na, Cl— SO ₄ —Na, Cl— Na; 0,3—270; 6,5— 9	Rп (370—7000); Fe (20—100); Br (25—150); H ₂ SiO ₃ (35—55)	8—45	Куинское, Джусалын- ское, Майбалыкское, Рахмановские Ключи, Арасан-Копал, Алма- Арасан
SO ₄ —Na, Cl— SO ₄ —Na, Cl— HCO ₃ —Na, Cl—Na; 0,3—15; 6,5—7,5	Rп (370—5000)	8—50	Мерке, Сары-Агач

Продолжение табл. 7.1

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
	Гидрокарбонатно-хлоридные, сульфатно-хлоридные и хлоридные, бромные	3. Палеоген-неогеновый трещинно-пластовых и порово-пластовых вод
Гянь-Шаньская	Гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные кремнистые термы, радоновые и редко углекислые воды	1. Палеозойский трещинно-жилых, трещинно-пластовых и трещинно-карстовых вод; граниты, гнейсы, сланцы, доломиты, известняки, песчаники
	Гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные, сероводородные, радоновые, йодобромные воды, кремнистые термы, редко углекислые воды	2. Мезозой-кайнозойский трещинно-пластовых и порово-пластовых вод; известняки, песчаники, конгломераты, пески
Алтае-Саянская	Гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные, хлоридные, радоновые, углекислые, редко железистые, сероводородные воды и кремнистые термы	1. Докембрийско-палеозойский трещинно-жилых трещинно-пластовых и трещинно-карстовых вод; граниты, гнейсы
	Сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатные, сульфатно-хлоридные воды и кремнистые термы	2. Мезозойский трещинно-пластовых и порово-пластовых вод; песчаники, алевриты, конгломераты, углистые сланцы, пески
Колыванская	Гидрокарбонатные радоновые	1. Палеозойско-мезозойский трещинно-жилых и трещинно-пластовых вод гидрогеологических массивов; граниты, базальты, гнейсы, песчаники, известняки

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения минеральных вод
Основной химический состав; минерализация М, г/л; рН	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
HCO ₃ —SO ₄ —Na, HCO ₃ —Cl—Na, Cl—SO ₄ —Na—Ca, Cl—Na; 2—55; 7,6—8,5	Br (25—50)	8—40	Аяк-Калкон, Пригородное
HCO ₃ —Mg—Ca, HCO ₃ —SO ₄ —Na, SO ₄ —Na; 0,3—1,5; 6—8,5	H ₂ SiO ₃ (35—55); Рп (370—7500); CO ₂ (900—2000)	5—60	Джеты-Огуз, Иссык-Ата, Ак-Су, Джарташ, источники Кураминского и Чайкальского хребтов
Cl—HCO ₃ —Na, SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na, Cl—Na—Ca; 0,5—300; 5,5—8,5	H ₂ S (20—300); Рп (370—13 500); H ₂ SiO ₃ (30—50); CO ₂ (50—1900); I (5—25); Br (50—250)	20—70	Чимшон, Майли-Су, Приташкентское, Кара-Шоро, Чолпон-Ата
HCO ₃ —Ca, Ca—Na, HCO ₃ —SO ₄ —Na, HCO ₃ —Cl—Na—Ca, SO ₄ —Ca—Mg, SO ₄ —Cl—Na—Ca, Cl—Na; 0,1—15; 2,8—9,4	Рп (185—1500); CO ₂ (600—2000); H ₂ SiO ₃ (35—150); Fe (10—20); As (1—4); H ₂ S (10—20)	2—82	Белокуриха, ист. Арысканский, Уш-Белдыр (северный Аржан), Тайрыс (южный Аржан), Чедер, Байтальские источники, ист. Ир-Сайлых
HCO ₃ —SO ₄ —Na, SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na; 0,2—10; 7—7,6	H ₂ SiO ₃ (50—70)	5—40	Маймалышские источники, ист. Сватикова
HCO ₃ —Ca, HCO ₃ —Ca—Na; < I; 6,5—7	Рп (370—5000)	5—8	Колывань, Заварзино (Томское)

Продолжение табл. 7.1

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс: его геолого-литологическая характеристика
Байкальская	Гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, хлоридно-сульфатные и хлоридные, радоновые, кремнистые, углекислые железистые Гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатные воды и кремнистые термы Сульфатные и хлоридно-гидрокарбонатные воды и кремнистые термы	2. Палеозойско-мезозойский трещинно-пластовых, трещинно-карстовых и порово-пластовых вод межгорных впадин; песчаники, известняки, алевролиты, углистые сланцы, диабазы 1. Архей-палеозойский трещинно-жильных вод; гнейсы, сланцы, граниты, мрамор, известняки 2. Оligоцен-плиоценовый порово-пластовых вод во впадинах; песчано-глинистые и грубообломочные отложения
Северо-Таймырская	Хлоридные воды и рассолы	1. Палеозойско-мезозойский трещинно-пластовых и трещинно-карстовых вод; осадочные, реже вулканические породы

складчатые структуры. В Казахской области выделяют массивы и межгорные впадины — артезианские бассейны. В пределах массивов развиты трещинные и трещинно-жильные скопления подземных вод в гнейсо-сланцевых породах архея — нижнего палеозоя и терригенно-вулканогенных породах нижнего палеозоя. Водоносность пород слабая. Наиболее водообильны кристаллические породы архея-кембрия и гранитоиды в зонах разломов, где дебиты источников достигают 2 л/с. В верхней части разреза распространены пресные воды гидрокарбонатного состава. Ниже глубин 100—150 м воды имеют минерализацию 3—10 г/л и разнообразный ионный состав. Наиболее водоносны закарстованные породы. В адбассейнах, в карбонатно-терригенных юрско-палеогеновых отложениях развиты карстово-трещинно-пластовые воды, а в терригенных неоген-четвертичных отложениях — порово-пластовые, в основном пресные воды. В карбонатно-лагунно-вулканогенно-терригенных породах девона-перми минерализация вод достигает 35 г/л.

В межгорных бассейнах развиты порово-пластовые воды терригенных неоген-четвертичных отложений, порово-трещин-

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения минеральных вод
Основной химический состав; минерализация <i>M</i> , г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
HCO ₃ —Mg—Ca, Cl—HCO ₃ —Ca— Mg, Cl—SO ₄ — Mg—Na, Cl—Na; 0,4—260; 6,5—8 6,5—8	CO ₂ (175— 2000); H ₂ SiO ₃ (50— 65); Fe (10—25)		Кожаново, ист. Афанасьевский (с. Батени), Шира, Макариха, Петрошилловская
SO ₄ —HCO ₃ —Na, SO ₄ —Na; <2; 7,5—9,5	H ₂ SiO ₃ (50— 150)	3—83	Горячинский, Могойские источники, Питателевские источники
Cl—HCO ₃ —Na, SO ₄ —Na; <2; 7,4—8	H ₂ SiO ₃ (50— 150)	25—45	Скважины в Байкальской, Баргузинской и Верхнеангарской впадинах
Cl—Na, Cl—Na— Ca; 35—300; 5,5—7,5	—	0—10	Отдельные глубокие скважины

но-пластовые воды карбонатно-терригенных юрско-палеогеновых толщ. Минерализация вод (сульфатно-хлоридного и хлоридного состава) с глубиной увеличивается, достигая 35 г/л. В глубоких горизонтах Тенгизского бассейна распространены рассолы (70—270 г/л) хлоридного состава, обогащенные йодом и бромом. Металлогенические особенности территории обусловили развитие радоновых и купоросных вод различной минерализации и химического состава. Радоновые воды приурочены к гранитным массивам, «древним фосфоритам» и породам липаритовой формации. Минерализация их до 0,5 г/л, содержание радона 350—7000 Бк/л. Железистые воды в Центральном Казахстане (ист. Джусалы) распространены в девонских песчаниках, их минерализация 0,7—1,4 г/л, содержание железа достигает 100 мг/л. Воды в основном холодные и лишь в глубоких горизонтах межгорных впадин распространены термальные сильно минерализованные воды и рассолы [22].

Тянь-Шаньская область минеральных вод включает Южно-Тянь-Шаньскую и Северо-Тянь-Шаньскую гидрогеологические складчатые области и межгорные артезианские

бассейны (Ферганский, Иссык-Кульский, Алаколь-Балхашский). По характеру обводненности в Тянь-Шаньской гидрогеологической складчатой области выделяются два этажа. В нижнем этаже развиты трещинные и трещинно-жильные воды. Водообильность пород изменяется от 0,1—0,5 л/с в сланцах до 20—50 л/с в зонах тектонических нарушений. Карбонатные породы нижнего карбона, девона и силура обладают высокой водообильностью, связанной с карстующими известняками. Дебит родников достигает 325 л/с. Наибольшим распространением в горных массивах пользуются пресные воды с минерализацией 0,1—0,5 г/л. В зонах тектонических разломов встречаются выходы углекислых вод и кремнистых терм.

В верхнем этаже — мезозой-кайнозойских осадочных толщах межгорных впадин — распространены трещинно-поровые и порово-пластовые воды. Минерализация вод с глубиной увеличивается до крепких рассолов. Воды содержат бром, йод, бор. Температура вод глубоких горизонтов достигает 110 °С и выше. В Ферганской впадине распространены сероводородные воды, связанные с нефтегазосностью бассейна и наличием в разрезе эвапоритов (месторождение Чартак). Воды приурочены к соленосным отложениям, характеризуются хлоридным натриевым и кальциево-натриевым составом. В Северо-Тянь-Шаньской гидрогеологической складчатой области в пределах массивов распространены пресные воды (0,05—1,7 г/л). В зонах разломов вблизи гранитоидных интрузий развиты термальные радоновые воды и кремнистые термы. Тянь-Шаньская область минеральных вод характеризуется интенсивной тектонической активизацией в кайнозое. Процессы активизации обусловили широкое развитие в области термальных вод. Металлогенические особенности определили формирование железистых, купоросных и радоновых вод (курорт Джеты-Огуз). На отдельных участках Тянь-Шаньской складчатой области обнаружены углекислые источники (Каракиче, Аксу и др.). В нефтегазосных впадинах области распространены йодо-бромные, борные, сероводородные воды сульфатно-хлоридного и хлоридного составов.

Алтае-Саянская область минеральных вод включает Алтай, Горную Шорию, Тувинскую впадину, Западный Саян и Восточный Саян. В ее геологическом разрезе выделяют докембрийско-палеозойский и мезозойско-кайнозойский этажи. В строении нижнего этажа участвует многокилометровая толща кристаллических сланцев, гнейсов, конгломератов, песчаников, известняков, гипсов и доломитов, прорванная

массивами интрузивных пород (граниты, диориты, габбро). В породах этого этажа развиты трещинные воды. Верхний этаж представлен песчано-глинисто-углистыми отложениями во впадинах и молодыми эффузивами (базальты, андезиты, туфы) в Восточном Саяне. В верхнем этаже распространены трещинно-пластовые и порово-пластовые воды.

Алтае-Саянская область характеризуется большим разнообразием минеральных вод. В нижнем гидрогеологическом этаже широко развиты радоновые воды, часто встречаются кремнистые термы и углекислые воды. Известны источники сероводородных и железистых вод.

Колыванская область минеральных вод включает Салаирский, Колывань-Томский, Кузнецко-Алатаусский гидрогеологические массивы и Кузнецкий, Южно-Минусинский, Сыдо-Ербинский, Северо-Минусинский и другие межгорные бассейны. Трещинные и трещинно-жильные воды гидрогеологических массивов — пресные гидрокарбонатные с минерализацией до 1 г/л. В межгорных впадинах распространены воды разнообразные по составу и степени минерализации. В Южно-Минусинской впадине в отложениях среднего девона на глубинах более 2 км распространены хлоридные рассолы с минерализацией до 250 г/л, с содержанием брома до 250 мг/л, йода 12 мг/л. В Кузнецком бассейне в угленосных терригенных отложениях пермо-карбона развиты хлоридные воды с минерализацией до 35 г/л и содержанием брома до 43 мг/л и йода 22 мг/л. В глубоких горизонтах впадин воды являются термальными. Холодные углекислые воды дарасунского типа в Северо-Минусинском бассейне и термального типа в Кузбассе, связаны с глубокими региональными разломами. Металлогенические особенности области обусловили формирование радоновых и железистых кислых (купоросных) вод различного состава.

Байкальская область минеральных вод включает систему молодых рифтовых впадин и обрамляющие их древние горные сооружения. Основную роль в формировании минеральных вод области играют зоны глубинных разломов, контролируемые выходы термальных источников. В гнейсах, кварцитах и сланцах архей-протерозоя, а также в мраморах и доломитах кембрия зоны разломов до глубин 1—2 км раскрыты. В пределах области зафиксированы высокие значения геотермического градиента (60 °C/1000 м). Поэтому минеральные воды часто имеют высокую температуру — до 83 °C (источники Могойские, Питателевские, Горячинские и др.). Ведущий тип минеральных вод — кремнистые термы. По химическому составу воды сульфатные или сульфатно-гидрокарбонатные

натриевые термальные с минерализацией 0,2—1 г/л. В них в повышенных количествах содержатся кремнекислота (до 120 мг/л), фтор (до 14 мг/л), отмечено наличие железа и сероводорода (до 15 мг/л).

В пределах Байкальской, Баргузинской, Верхнеангарской и других рифтовых впадин, выполненных песчано-глинистыми и грубообломочными отложениями олигоцен-плиоцена, минеральные воды имеют пластовый характер. В этих впадинах сосредоточены значительные ресурсы кремнистых терм.

Байкальская область характеризуется проявлением железорудной и полиметаллической минерализации. Поэтому при благоприятных геохимических условиях в ее пределах могут формироваться купоросные, мышьяковистые, фторсодержащие и железистые воды.

Северо-Таймырская область минеральных вод включает территорию Северного Таймыра, где повсеместно распространена многолетняя мерзлота мощностью 400—500 м и более. Подмерзлотные трещинно-пластовые и карстово-трещинные воды (в основном соленые) развиты в верхне-палеозойских и мезозойских осадочных, реже вулканогенных образованиях. В пределах массивов кристаллических пород, дислоцированных и метаморфических терригенно-карбонатных толщ протерозоя могут быть встречены купоросные воды.

7.2. Монголо-Охотская провинция

Провинция занимает территорию древней орогенной области герцинской складчатости, включающей сооружения Забайкалья, Приамурья, Амуро-Зейскую равнину и склоны Буреинского хребта. Северо-западной границей провинции служит система глубинных разломов, отделяющая ее от Алдано-Станового щита Сибирской платформы и структур Байкальской горной области. На востоке она граничит со структурами Тихоокеанского пояса.

Монголо-Охотская провинция состоит из Монголо-Забайкальской и Амуро-Охотской складчатых систем. В их строении принимают участие геологические формации от докембрийского до кайнозойского возрастов, образующие несколько структурных комплексов. Архей-нижнепротерозойские образования выступают на поверхность в пределах массивов и в ядрах антиклинорий, верхнепротерозойско-кембрийские и ордовикские отложения слагают комплекс основания. Силурийские, девонские и отложения нижнего карбона образуют главный геосинклинальный комплекс. К орогенному комплексу

герцинид относятся верхнепалеозойские молассы. Мезозойские и кайнозойские толщи в своем образовании связаны с процессами тектонической активизации.

В пределах Монголо-Охотской провинции выделяют Забайкальскую, Буреинскую, Уссурийскую, Сихотэ-Алиньскую, Приморско-Охотскую, Верхояно-Колымскую и Чукотскую складчатые системы.

Комплекс основания представлен гранитоидными породами и терригенно-карбонатными формациями архей-протерозоя, гранитоидами, гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами, кварцитами и мраморами палеозоя, общая мощность которых превышает 4,5 км. В период накопления кембрийских отложений провинция испытывала поднятие, сопровождающееся внедрением огромных масс гранитоидов. В синклиналиях рифейско-нижнепалеозойский этаж представлен, наряду с терригенными и карбонатными породами, горизонтами эффузивов, вулканогенно-осадочных и кремнистых пород. Главный геосинклинальный комплекс (среднепалеозойский) сложен терригенными, часто грубообломочными и терригенно-карбонатными породами мощностью в пределах антиклинальных структур 1,5—3 км, а в синклиналиях — до 6 км. На востоке провинции суммарная мощность среднего палеозоя резко возрастает до 18 км и более.

Орогенный комплекс сложен каменноугольными и пермскими молассами, с которыми связаны многочисленные массивы позднепалеозойских гранитоидов. Мощность их достигает 3 км. В орогенный этап развития герцинид провинция неоднократно подвергалась процессам тектоно-магматической активизации. Наиболее интенсивная переработка герцинских структур связана с мезозойской тектоно-магматической деятельностью (триас-нижний мел). Мезозойские прогибы и впадины выполнены морскими и континентальными терригенными песчано-сланцевыми и грубообломочными формациями, угленосными и вулканогенными толщами. Мощность отложений изменяется от 1 до 7 км. Формирование этих впадин и прогибов завершилось внедрением огромных масс гранитоидов. Наиболее крупный вулканический покров расположен в восточной части провинции. Он образует протяженный Приморско-Охотский вулканический пояс.

Формирование платформенного чехла в пределах Зейско-Буреинской плиты началось в позднем мелу. Верхнемеловые и палеогеновые отложения представлены песками и песчаниками с прослоями конгломератов, глин, вулканических туфов и бурых углей. Мощность толщи 1 км. В конце палеогена провинция была вовлечена в процесс неотектонической

активизации с заполнением межгорных впадин песчано-галечными отложениями мощностью от нескольких сотен метров до первых километров. Неогеновые и четвертичные пески и галечники имеют мощность до 0,4 км.

Таким образом, для Монголо-Охотской провинции характерны интенсивный процесс мезозойской или мезозойско-кайнозойской активизации и большое количество массивов гранитоидов, связанных с герцинской складчатостью и эпохой мезозойской активизации. В этом заключается ее отличие от Урало-Монгольской провинции. С процессами мезокайнозойской активизации связано формирование углекислых, радоновых, мышьяковистых вод и кремнистых терм. По особенностям геологического строения, истории развития, условиям формирования и распространения минеральных вод в пределах провинции выделяют Забайкальскую, Бурейскую, Уссурийскую, Сихотэ-Алиньскую, Приморско-Охотскую, Верхояно-Колымскую и Чукотскую области (см. рис. 4.1).

Кремнистые термы имеют распространение практически во всех областях провинции от Забайкалья до Чукотки. В связи с металлогенической специализацией Монголо-Охотской провинции широкое развитие имеют купоросные, мышьяковистые и фторсодержащие воды. Радоновые воды не выявлены лишь в пределах Приморско-Охотского вулканического пояса, сложенного андезито-базальтами и на Сихотэ-Алине. Углекислые воды достаточно широко распространены в пределах Забайкальской и Уссурийской областей, что обусловлено наличием карбонатных пород, затронутых процессами термометаморфизма. В провинции очень редко встречаются сероводородные, иодо-бромные воды и рассолы хлоридного натриевого и кальциево-натриевого составов. Это обстоятельство связано с отсутствием нефтегазоносных и соленосных залежей. Отдельные выходы хлоридных вод Чукотки находятся в прибрежно-морской зоне (табл. 7.2).

Забайкальская область минеральных вод. В геологическом строении области принимают участие кристаллические и метаморфические породы докембрия, палеозоя и мезозоя. Среди них широко распространены кислые гранитоиды мезозоя, часто обогащенные радиоактивными элементами. Отличительная особенность области — развитие большого числа впадин забайкальского типа. Впадины выполнены осадочными и эффузивными породами фанерозоя. Наиболее водообильны песчаники и конгломераты юрско-мелового возраста, имеющие мощность до 0,5—1 км. В ряде районов Забайкалья в период новейшей тектоно-магматической активизации проявился базальтовый магматизм.

С периодами мезозой-кайнозойской активизации связано формирование углекислых, радоновых вод и кремнистых терм. Участки интенсивного проявления минеральных вод различных типов картируются вдоль крупных разломов или вблизи потухших вулканов.

Основные типы минеральных вод области — трещинно-жильный и трещинно-пластовый.

Среди углекислых вод наиболее широко распространены гидрокарбонатные магниевые-кальциевые дарасунского типа с минерализацией 1—3 г/л. В этих водах часто содержится железо до 30 мг/л (источники Дарасун, Кука, Урчуган). Встречены также гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией до 16 г/л. Воды повышенной минерализации отмечаются во впадинах в напорных горизонтах мезозойских песчаников и конгломератов (ист. Балей). Среди углекислых вод преобладают холодные (1—3 °С), редко встречаются воды с температурой 20 °С (ист. Ямкун).

Наряду с углекислыми в пределах области распространены радоновые воды. Они формируются в зонах разломов гранитоидов, а также в горизонтах осадочно-вулканогенных пород, выполняющих впадины, которые часто обогащены радиоактивными элементами. С трещинной зоной крупного Чикой-Ингодигского разлома связано формирование радоновых углекислых вод месторождения Молоковка. Содержание радона в водах достигают 2500 Бк/л, а углекислоты — 3,2 г/л.

Кремнистые термы в области имеют локальное развитие. По составу они сульфатно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией до 2 г/л и температурой до 45 °С; содержание кремнекислоты достигает 120 мг/л, фтора 11 мг/л. Отдельные источники кремнистых терм имеют повышенную радиоактивность (до 250 Бк/л — ист. Былыра). Отмечена связь выходов кремнистых терм с зонами глубинных разломов. Дополнительные ресурсы минеральных вод области могут быть выявлены во впадинах, в горизонтах мезозойских пород.

Буреинская область минеральных вод. В геологическом строении области участвуют палеозойские гранитоиды Буреинского массива, перекрытые чехлом песчано-глинисто-угленосных отложений мезозой-кайнозоя. В пределах области известны выходы кремнистых терм с температурой до 72 °С.

Источник кремнистых ($H_2SiO_3 = 108$ мг/л), фторсодержащих ($F = 12$ мг/л) терм приурочен к зоне глубинного разлома в гранитах палеозоя, испытавших процесс неотектонической активизации.

Минеральная вода месторождения Кульдур хлоридно-гидрокарбонатная натриевая с общей минерализацией 0,4 г/л

Т а б л и ц а 7.2

Монголо-Охотская провинция (по Г. В. Куликову, А. В. Жевла

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
Забайкальская	<p>Гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридно-гидрокарбонатные углекислые, радоновые, кремнистые и железистые</p> <p>Гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные, углекислые, железистые, кремнистые радоновые</p>	<p>1. Архей-палеозойский трещинно-жильных и трещинно-пластовых вод; гнейсы, сланцы, граниты, песчаники, известняки</p> <p>2. Мезозойский трещинно-пластовых вод во впадинах; конгломераты, песчаники, алевролиты, туфопесчаники, дациты, порфириты</p>
Бурейнская	<p>Гидрокарбонатные, сульфатно-гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, кремнистые термы</p> <p>Гидрокарбонатные и сульфатные, радоновые</p>	<p>1. Палеозойско-мезозойский трещинно-жильных и трещинно-пластовых вод; граниты, диориты</p> <p>2. Мезозойско-кайнозойский трещинно-пластовых и порово-пластовых вод во впадинах; песчаники, алевролиты, углестые сланцы, пески</p>
Уссурийская	<p>Гидрокарбонатные углекислые, железистые, кремнистые</p> <p>Гидрокарбонатные углекислые, железистые, кремнистые</p>	<p>1. Палеозойский трещинно-жильных вод кристаллических массивов; гнейсы, сланцы, граниты</p> <p>2. Мезозойско-кайнозойский трещинно-пластовых и порово-пластовых вод впадин; терригенно-карбонатные и эффузивные породы</p>
Сихотэ-Алиньская	<p>Гидрокарбонатные углекислые, кремнистые</p> <p>Гидрокарбонатные углекислые, железистые</p>	<p>1. Палеозойско-мезозойский трещинно-жильных и трещинно-пластовых вод осадочных, эффузивно-осадочных и эффузивных пород кристаллических массивов</p> <p>2. Мел-неогеновый трещинно-жильных и трещинно-пластовых вод осадочных, эффузивно-осадочных и эффузивных пород во впадинах</p>

кову, 1987 г.)

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Температура, °C	
HCO ₃ —Mg—Na, SO ₄ —HCO ₃ —Na—Ca, Cl—HCO ₃ —Na; 0,1—5; 5,4—8,5	CO ₂ (500—3000); Rn (170—5000); H ₂ SiO ₃ (50—110); Fe (10—30)	0,5—35	Молоковка, Ямаровка, Шиванда, Кука, Семиозерский
HCO ₃ —Mg—Ca—Na; 0,3—10; 6,0—9,5	CO ₂ (500—3200); Fe (10—20); H ₂ SiO ₃ (50—80); Rn (170—1000)	1,0—45	Дарасун, Былыринское, Ургучанское, Олентуйское
HCO ₃ —Na, SO ₄ —HCO ₃ —Na, Cl—HCO ₃ —Na; 0,2—0,5; 6,8—9,3	H ₂ SiO ₃ (50—110)	27—72	Кульдур, Тырминский, Солонинский, Бьсинский
SO ₄ —HCO ₃ —Na, HCO ₃ —SO ₄ —Na, SO ₄ —Na; 0,5—2,5; 6,5—7,5	Rn (<1000)	5—20	Скважины в Буренской впадине
HCO ₃ —Mg—Ca; 0,5—2,5; 5,6—6,5	CO ₂ (1000—3000); Fe (15—35); H ₂ SiO ₃ (50—100)	5—15	Шмаковка
HCO ₃ —Na—Ca, HCO ₃ —Ca—Mg, HCO ₃ —Ca; 0,1—4,5; 6,0—6,5	CO ₂ (600—3000); Fe (15—55); H ₂ SiO ₃ (50—85)	7—15	Раковские, Ласточка, Чернореченский, Марьяновский, Сандагоу
HCO ₃ —Ca; 0,5—1,0; 5,6—6,5	CO ₂ (600—2500); H ₂ SiO ₃ (50—100)	2—10	Кербинский
HCO ₃ —Ca, HCO ₃ —Mg—Na, HCO ₃ —Na, SO ₄ —Na; 0,5—3,0; 3,5—6,5	CO ₂ (600—2000); Fe (10—100)	5—15	Наймукские и Кавалеровские источники

Продолжение табл. 7.2

Область минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
Приморско-Охотская	Гидрокарбонатные хлоридные, кремнистые термы	1. Мел-неогеновый трещинно-жильных и трещинно-пластовых вод эффузивных пород; порфириты, туфы, андезиты-базальты
Верхояно-Колымская	Гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные, железистые, радоновые, кремнистые термы	1. Архей-нижнепалеозойский трещинно-жильных вод срединных массивов; гнейсы, сланцы, гранитоиды
Чукотская	Гидрокарбонатные сульфатные, сульфатно-хлоридные, углекислые, кремнистые, железистые	2. Верхнепалеозой-мезозойский трещинно-пластовых вод впадин; песчаники, алевролиты, конгломераты, туфы
	Хлоридные, кремнистые термы, радоновые воды Хлоридные, кремнистые термы, углекислые, радоновые	1. Архей-палеозойский трещинно-жильных вод срединных массивов; гнейсы, сланцы, гранитоиды 2. Мезозойско-кайнозойский трещинно-пластовых и порово-пластовых вод впадин

и $pH=9,3$; эксплуатационные запасы кремнистых терм по категории А составляют $1910 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Кремнистые термы известны также в других районах области (источники Биссинский, Солонинский, Тырминский). Они имеют малую минерализацию (до $0,5 \text{ г/л}$), преимущественно гидрокарбонатный натриевый состав.

В пределах области имеются перспективы выявления радоновых вод в горизонтах угленосных осадков кайнозоя, местами обогащенных радиоактивными элементами.

Усурийская область минеральных вод. Геологическое строение ее сложное. На западе области находится Ханкайский массив, в центральной части — Даубихенский прогиб, а на востоке — антиклинорий Сихотэ-Алинь. Область характеризуется развитием трещинных и трещинно-пластовых углекислых вод в известняках и песчано-глинистых толщах мезозоя и гранитоидах палеозоя, прорванных неоген-четвертичными базальтами.

Зона распространения углекислых вод в Приханкайском

Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; pH	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Rn, Бк/л)	Температура, °C	
HCO ₃ —Na, Cl—Na—Ca; 0,2—20; 7,2—9,5	H ₃ SiO ₃ (50—150)	20—90	Тумнин, Амгу, Кхуцин, Талая, Чаплинские, Сенявинские источники
HCO ₃ —Na, SO ₄ —Na, Cl—Na; 0,5—10; 5—7,5	Fe (10—50); Rn (175—750); H ₂ SiO ₃ (50—80)	1—15	Отдельные скважины и шахты
HCO ₃ —Na, SO ₄ —Ca—Mg, SO ₄ —Cl—Na; 0,5—7; 4—8	CO ₂ (500—1700); H ₂ SiO ₃ (50—100); Fe (10—35)	1—26	Менкече, Кидыкчан, Саганьинский, Сытыган-Сылга
Cl—Ca—Na; 4,5—35; 7,5—8	H ₂ SiO ₃ (50—150); Rn (175—750)	10—70	Нешканские, Кукунские
Cl—Ca—Na; 3,5—40; 6—7,5	H ₂ SiO ₃ (50—200); Rn (175—750); CO ₂ (500—2000)	20—90	Дежневские, Туманные, Безымянные, Мечигменские

районе находится на стыке массива и впадины в пределах развития глубинных разломов. Здесь известен целый ряд источников (Раковские, Шамаковка, Ласточка, Чернореченские). К Даубихенской зоне разломов приурочены выходы Покровского, Марьяновского, Шетухинского и других источников углекислых вод. В Южном Приморье с зонами молодых разломов, проходящих вдоль побережья Японского моря, связаны источники Сандагоу, Рудничный и другие.

Для Уссурийской области характерно развитие преимущественно холодных (4—15 °C) углекислых вод гидрокарбонатного кальциевого и магниевое составов с минерализацией 0,1—3,5 г/л, повышенным содержанием железа (до 55 мг/л) и кремниескислоты (до 100 мг/л).

Ограниченное распространение имеют гидрокарбонатные кальциево-натриевые воды с минерализацией до 4,5 г/л (Ласточка). Они вскрываются во впадинах и прогибах, vyplненных песчано-глинистыми отложениями мезозоя. Гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией 8—15 г/л

встречены в сланцах юры в районе с. Мухен. Эти углекислые воды обогащены бором ($H_2BO_3 = 133$ мг/л). Месторождение минеральных вод находится в зоне сочленения Сихотэ-Алиня со Средне-Амурской депрессией, где проявились интрузии гранодиорит-порфиоров и базальтовый магматизм.

Сихотэ-Алиньская область минеральных вод включает две основные геологические структуры: антиклинорий Сихотэ-Алиня и Средне-Амурскую депрессию. В геологическом строении области участвуют геосинклинальные формации верхнего палеозоя-мезозоя, представленные осадочными, вулканогенно-осадочными и вулканогенными породами. Последние слагают протяженный вулканический пояс Западного Сихотэ-Алиня. В его строении участвуют также палеогеновые и миоценовые вулканические толщи. В пределах Средне-Амурской котловины развита континентальная моласса олигоцен-миоцена.

Сихотэ-Алиньская область представляет собой типичную гидрогеологическую складчатую область с широким развитием подземных вод трещинного типа. Среди них преобладают гидрокарбонатные кальциевые и натриевые воды с минерализацией до 1—3 г/л. В пределах области интенсивно проявились рудные процессы, связанные с мезозой-кайнозойской активизацией. Они выразились в формировании целого ряда месторождений полиметаллов, мышьяка, ртути и других элементов. На участках проявления сульфидной минерализации часто формируются купоросные, мышьяковистые и фторсодержащие воды. Процессы мезозой-кайнозойской активизации обусловили формирование углекислых вод и кремнистых терм. Отдельные источники углекислых вод имеют гидрокарбонатный кальциевый или натриевый состав и часто содержат кремнекислоту (источники Кербинский, Наймукский).

Кремнистые термы могут быть выявлены в пределах вулканического пояса Западного Сихотэ-Алиня. Для поисков минеральных вод сульфатно-хлоридного и хлоридного типов перспективны водоносные комплексы верхнего палеозоя и мезозоя в районах депрессий.

Приморско-Охотская область минеральных вод включает протяженный Приморско-Охотский вулканический пояс, приуроченный к системе глубинных разломов и сложенный андезито-базальтами эоцен-миоцена. Молодые вулканические породы прорывают и перекрывают различные по составу породы мезозоя. Трещиноватые андезито-базальты образуют протяженные покровы и содержат большие запасы пресных вод гидрокарбонатного состава. На участках проявления

сульфидной минерализации трещинные воды часто обогащены мышьяком, фтором, железом, алюминием и другими металлами (рудник Тетюхе).

Область характеризуется широким развитием кремнистых терм. Преобладают гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией 0,2—2,0 г/л и слабощелочной реакцией ($\text{pH} = 7,2 - 9,5$). Температура вод находится в пределах от 20 до 90 °С (источники Амгу, Кхуцин, Хиим, Талая, Чаплинские и др.). Содержания кремнекислоты в минеральных водах составляют 44—150 мг/л. Кремнистые термы отдельных источников и скважин содержат повышенные количества фтора до 5—18 мг/л (ист. Талая), радона до 550 Бк/л (ист. Сенявинские). В пределах области известны кремнистые термы хлоридного натриево-кальциевого состава с минерализацией до 18 г/л и содержанием брома до 50 мг/л (источники Таватумский, Чаплинские), которые формируются в водоносных комплексах мезозоя.

Верхояно-Колымская область минеральных вод. В геологоструктурном плане области, входящей в складчатый мезозойский пояс, выделяют Колымский, Омолонский и другие срединные массивы.

С массивами гранитоидов связаны месторождения полиметаллов, мышьяка, ртути, редких и радиоактивных элементов. В осадочных отложениях межгорных впадин накапливались залежи каменного угля. Водоносные комплексы складчатого основания, геосинклинального и орогенного этажей содержат пестрые по химическому составу минеральные воды. Верхние водоносные комплексы до глубин 0,5—0,6 км заморожены. Поэтому основной тип минеральных вод области — трещинно-жильные, приуроченные к зонам глубинных разломов. Среди них преобладают воды, обогащенные фтором, мышьяком, радоном. Большую группу составляют купоросные воды участков развития сульфидной минерализации. Они имеют сульфатный кальциево-магниевый состав и минерализацию до 10 г/л (ист. Кадыкчан). В районе р. Менкече в отложениях верхоянского комплекса на глубине 250 м вскрыта углекислая гидрокарбонатная кальциево-натриевая вода с минерализацией 5,1 г/л. В ней содержатся повышенные количества кремнекислоты (до 80 мг/л) и железа (до 33 мг/л). Формирование углекислоты может быть обусловлено процессом термометаморфизма пород в пределах зоны глубинного разлома.

В зонах разломов могут быть вскрыты термальные воды, обогащенные кремнекислотой и другими биологически активными элементами. Например, в верховье р. Индигирки

известен источник с температурой воды 26 °С. В районах срединных массивов в зонах разломов могут быть встречены радоновые воды.

Чукотская область минеральных вод. В ее геологическом строении участвуют породы складчатого основания, геосинклинального и орогенного этажей. Водоносный комплекс кристаллических и метаморфических пород архей-палеозоя содержит трещинно-жильные и трещинно-грунтовые воды. В этом комплексе наибольший интерес представляют кремнистые термы и радоновые воды трещинно-жильного типа. По химическому составу воды хлоридные кальциево-натриевые с минерализацией 4,5—35 г/л. Содержание кремнекислоты достигает 200 мг/л (источники Нешканские, Кукунские), температура вод 56—80 °С.

Водоносный комплекс геосинклинального этажа представлен песчано-глинистыми толщами триаса и юры. Минеральные воды в этом комплексе встречаются редко.

Орогенный водоносный комплекс отличается богатством термальных вод. Водовмещающие породы представлены гранитоидами и эффузивами мел-палеогенового возраста.

Термальные воды имеют основной хлоридный кальциево-натриевый состав и минерализацию 3,5—40 г/л. Содержание кремнекислоты в них достигает 200 мг/л (источники Дежневские). Температура минеральных вод орогенного водоносного комплекса 20—90 °С.

Кремнистые термы, углекислые и радоновые воды Чукотской области формируются за счет процессов тектоно-магматической активизации интенсивно проявившихся в мезозой-кайнозойский период.

В связи с металлогенической специализацией области в ее пределах возможно выявление радоновых, купоросных, мышьяковистых и фторсодержащих минеральных вод.

ГЛАВА 8

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ МОЛОДЫХ ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

8.1. Средиземноморская провинция

На севере провинция граничит с молодой эпипалеозойской Скифско-Туранской и древней допалеозойской Восточно-Европейской платформами. Отделяясь от них предгорными и крупными глубинными разломами, она включает Восточные Карпаты, Крым, Кавказ, Большой Балхан, Копетдаг, Южный Памир. В структурно-тектоническом плане представляет собой ряд крупных разновозрастных стабильных блоков, разделенных геосинклинальными мезозой-кайнозойскими складчатыми зонами. Строение ее осложнено наложенными межгорными орогенными прогибами и новейшими вулканоплутоническими структурами. По времени заложения альпийских структур на континентальной коре в пределах провинции выделяют следующие зоны: 1) длительного геосинклинального развития (от триаса до палеогена включительно) — Большой Кавказ; 2) геосинклинальное развитие которых завершилось на границе юры и мела — внутренняя зона Восточных Карпат, Горный Крым и часть Малого Кавказа; 3) заложение геосинклинальных прогибов произошло на границе юры и мела и в эоцене — Восточные Карпаты и Малый Кавказ.

В пределах всей провинции в очень активной форме проявились процессы позднекиммерийской и альпийской складчатостей. Она характеризуется проявлением молодого регионального метаморфизма, магматизма, процессов новейшего оруденения и формирования наиболее молодой нефти. Четвертичный вулканизм на примере Большого и Малого Кавказа представлен излияниями андезито-базальтов. Для всей провинции характерны: интенсивная дислоцированность отложений от наиболее древних до четвертичных включительно; чередование высоких гор и глубоких впадин, свидетельствующих о больших амплитудах неотектонических движений. В связи с большими скоростями и контрастностью движений суммарная амплитуда перемещений поверхности отдельных смежных участков достигает 30 км [26].

В геологическом строении средиземноморской провинции выделяются следующие структурные этажи: докембрийско-среднепалеозойский, верхнепалеозойско-нижнемезозойский,

среднемезозойский, верхнемезозойский, верхнемезозойско-кайнозойский и неоген-антропогенный. Породы докембрийско-среднепалеозойского этажа обнажаются в центральной зоне Карпат (Мармарошский массив), в западной части Большого Кавказа, центральной части Малого Кавказа (Дзирульский, Храмский и Арзакентский массивы). Породы интенсивно метаморфизованы: кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты, кварциты, песчаники, филлиты, известняки и доломиты. Верхнепалеозойско-нижнемезозойский этаж на северном склоне Западного Кавказа и в Еревано-Нахичеванском синклинории представлен метаморфической толщей аркозовых песчаников, конгломератов, углисто-глинистых сланцев и известняков. Среднемезозойский этаж обнажен на больших площадях в Крыму и на Кавказе. Представлен он известняками, мергелями, глинистыми сланцами, песчаниками, туфами и порфиритами. Верхнемезозойский этаж рифовых известняков слагает гребни Крымских гор и Северного Кавказа, утесы Карпат, массивы Малого Кавказа и другие районы. Породы верхнемезозойско-кайнозойского этажа распространены повсеместно, но обнажены только в складчатых структурах. Представлены они мощными флишевыми толщами, сложенными известняками, мергелями, глинами, базальными песчаниками, порфиристыми туфами и туфобрекчиями. Неоген-антропогенный этаж представлен мощными толщами песков, глин с пластами гипсов, каменной соли, туфами, туфобрекчиями и андезито-базальтовыми лавами.

Основные структуры альпийского пояса имеют следующие различия в особенностях геологического строения и истории развития.

1. Геосинклинальное развитие Карпат завершилось в палеогене, а в неогене сформировалась вторичная континентальная кора. Для Карпат характерно наличие предгорных прогибов, заложившихся на границе юры — мела и в эоцене. Устойчивые блоки имеют здесь ограниченную площадь. Молодой вулканизм проявился достаточно широко. Основная отличительная особенность Карпат — наличие крупных надвиговых структур.

2. Кавказ и Горный Крым отличаются длительным геосинклинальным развитием от триаса до настоящего времени. Формирование вторичной континентальной коры здесь не завершено. Кавказ характеризуется блоковым строением с остаточными массивами, сформировавшимися в докембрии и палеозое, и наличием крупных межгорных впадин. Неоген-четвертичный вулканизм с излияниями трахи-липаритов и анде-

зито-базальтов проявился в основном в приподнятых блоках Главного и Малого Кавказа.

3. Структуры Копетдага и Большого Балхана сформировались в основном в инверсионную стадию геосинклинального развития, начиная с олигоцена. Формирование вторичной континентальной коры, как и на Кавказе, не завершено. В эту стадию образовался глубокий компенсационный Предкопетдагский прогиб. Отличительной особенностью Копетдага и Большого Балхана является отсутствие в их пределах молодого вулканизма.

4. Памирская позднегерцинская-киммерийская складчатая система характеризуется относительно малыми глубинами залегания кристаллического фундамента, его слабой раздробленностью и малой мощностью чехла. Геосинклинальный этап развития завершился здесь в верхнем мелу. В Южном Памире новейшее горообразование началось в конце палеогена и сопровождалось внедрением в неогене щелочных сиенитов и габброидов. В конце неоген-четвертичного периода проявились интенсивные вертикальные движения коры с подъемом базальтовой магмы и образованием даек и покровов.

Различия в геологическом строении и истории развития отдельных структур Средиземноморского складчатого пояса определяют особенности формирования и распространения минеральных вод. На этом основании в пределах Средиземноморской провинции выделяют области минеральных вод: Карпатскую, Крымско-Кавказскую, Копетдагскую и Южно-памирскую (см. рис. 4.1).

Карпатская область минеральных вод. Основные геологоструктурные элементы Карпатской области — Предкарпатский краевой прогиб, Внешние (Флишевые) Карпаты и Закарпатский межгорный прогиб. На северо-востоке область граничит с древней Восточно-Европейской платформой по внешней зоне Предкарпатского прогиба, отделенной от внутренней его зоны Стебницким надвигом. Таким образом, внешняя зона Предкарпатского прогиба располагается в пределах юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы, а внутренняя — в Средиземноморском складчатом поясе. Внутренняя зона, примыкающая к складчатым Карпатам, имеет мел-палеогеновое флишевое основание. Выполнена она толщей неогеновых моласс мощностью до нескольких километров с наличием в разрезе соленосных отложений. В структурном плане вся толща моласс и флишевое основание представляют систему складок, надвинутых друг на друга и часто расчлененных сбросами-сдвигами. Молассовая толща

внутренней зоны надвинута по Стебницкому надвигу на внешнюю зону с амплитудой более 15 км.

В отличие от внутренней зоны Предкарпатского прогиба, во внешней зоне складчатое основание представлено породами рифея и нижнего палеозоя и только в крайней юго-восточной части породами палеозоя и мезозоя. Сложена она горизонтально залегающими карбонатными отложениями юры, мела и молассах неогена. Внешние Карпаты отделяются от внутренней зоны Предкарпатского прогиба Береговым разломом. Ее граница с Закарпатским прогибом на юге проходит по зоне Пьенинских утесов. Линейная складчатость Внешних Карпат осложнена мелкими изоклинальными складками, надвигами, брахискладками, мульдами и др. В пределах мегантиклинория Внешних Карпат выделяют антиклинорные и синклинорные зоны. В антиклинорной зоне находится Мармарошский массив, надвинутый в северо-восточном направлении на Беркутско-Раховскую группу складок. Синклинорная часть сложена олигоценым флишем мощностью в несколько километров, а антиклинорная — флишем мелового и палеогенового возраста. Ядра древних массивов Внешних Карпат представлены кристаллическими сланцами, гнейсами, амфиболитами рифея и прорывающими их гранитами палеозоя.

Закарпатский внутренний прогиб выполнен мощной слабодислоцированной толщей моласс миоцен-плиоценового возраста. В прогибе выделяют западную Чоп-Мукачевскую и восточную Солотвинскую впадины, разделенные вулканами Выгорлат-Гутинской гряды. Во впадинах распространены соленосные и гипс-ангидритовые породы. В Солотвинской впадине развиты солянокупольные структуры. Терещинская свита почти целиком сложена каменной солью. Молассы Закарпатского прогиба погружаются в юго-западном направлении, Выгорлат-Гутинская вулканическая гряда сложена мощными покровами (до 500 м) верхнеплиоценовых лав и туфов, андезитов, андезито-базальтов, реже дацитов и риолитов.

Особенности формирования и распространения минеральных вод в Карпатской области определяются главным образом структурно-тектонической зональностью, формационными, петролого-геохимическими условиями и историей геологического развития ее структур. В пределах Карпатской области выделяют следующие районы минеральных вод: Предкарпатский, Карпатский и Закарпатский (рис. 8.1).

Карпаты представляют собой область распространения углекислых, сероводородных, борных, йодобромных и хлорид-



Рис. 8.1. Карпатская область углекислых, сероводородных, борных, иодобромных, хлоридных гидрокарбонатных минеральных вод.

Районы: I — Предкарпатский; II — Карпатский; III — Закарпатский. Типы минеральных вод: 1 — хлоридные с повышенным содержанием брома, реже иода; 2 — сероводородные; 3 — углекислые; 4 — борные; 5 — кремнистые термы; 6 — радоновые. Границы: 7 — района, 8 — площади распространения различных типов минеральных вод

ных минеральных вод (табл. 8.1). Углекислые воды, часто обогащенные мышьяком, бором, фтором и другими элементами, формируются в пределах Выгорлат-Гутинской зоны молодого вулканизма и прилегающих к ней районах Флишевых Карпат и Закарпатского прогиба. Они приурочены к зонам тектонических нарушений глубокого заложения и тектоническим узлам. Преимущественное распространение имеют холодные углекислые воды, что обусловлено надвиговой структурой области с относительно малой глубиной циркуляции инфильтрационных вод.

Сероводородные воды в пределах внутреннего Предкарпатского прогиба образуются за счет окисления углеводородов в области распространения соленосных молассовых толщ неогенового возраста. В районе вулканических пород Выгорлат-Гутинской зоны, обогащенных сульфидами, сероводородные воды формируются при окислении растительной органики. Рассолы хлоридного натриевого и сульфатно-хлоридного состава, обогащенные йодом и бромом, распространены в молассовой толще Предкарпатского и Закарпатского прогибов. Широкое развитие высококонцентрированных рас-

Т а б л и ц а 8.1

Карпатская область углекислых, сероводородных, борных, йодистых минеральных вод (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову,

Район минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Предкарпатский	Хлоридные, натриевые, сульфатные натриевые, йодобромные, сероводородные	Неогеновый; песчано-глинистые отложения с прослоями гипса, калийной и каменной соли
II. Карпатский	Радоновые Углекислые, борные гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые	Рифей-палеозойский; кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты и граниты, перекрытые терригенной пестроцветной толщей верхнего палеозоя с прослоями лав, туфов и гипса Юрско-палеогеновый; песчаники, глинистые сланцы, мергели и известняки
III. Закарпатский	Хлоридные и сульфатно-хлоридные, йодобромные, борные, углекислые и сероводородные Сероводородные, углекислые	Миоцен-плиоценовый; терригенно-карбонатные молассовые отложения с наличием соленосных и гипс-ангидритовых горизонтов Верхнеплиоценовый; андезитобазальты, туфы

солов обусловлено наличием в молассе пластов каменной соли.

Повышенные концентрации бора отмечаются в углекислых водах и рассолах хлоридного и сульфатно-хлоридного составов. Они формируются за счет борной минерализации Карпатской области, являющейся частью Южного (Средиземноморского) борного пояса [4]. Для минеральных вод области в целом характерны повышенные содержания мышьяка, железа, фтора, ртути, бора, сурьмы и других элементов, связанных с альпийским рудогенезом.

бромных, хлоридных, сульфатных и гидрокарбонатных, реже крем-
1987 г.)

Физико-химическая характеристика минеральных вод				Месторождения, источники, скважины минеральных вод
Химический состав; минерализация, г/л; рН	Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л; Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na; 3—330; 5,5—8	CH ₄ , N ₂ , H ₂ S	I (5—70); Br (300—800); H ₂ S (20—150); C _{орг}	10—30, 7—12, 8—10	Моршин, Трусскавец, ист. Нафтуся
HCO ₃ —Ca; 6,5—7,0 HCO ₃ —Na; 6,5—7,5	<1; <2; N ₂ , CO ₂	Rп (<1000); CO ₂ (<2500)	8—10	Источники Раховского массива
Cl—HCO ₃ —Ca—Na, HCO ₃ —Mg—Ca; 1—12, редко <30; 6,5—6,9	CO ₂	CO ₂ (1000—5000); H ₃ BO ₃ (<633); Fe (<40); As (<43); Br (<60); I (<17)	8—25	Верхне-Быстрый, Сойминское, Келечинское, Пасека, Драчино, Квасы Раховские, Соль — завод розлива
Cl—Na, SO ₄ —Cl—Na—Ca; 10—350; 5,5—7 HCO ₃ —Cl—Na, Cl—Na; 1—20; 6,5—7	N ₂ ; CH ₄ ; CO ₂	I (<65); Br (<900); H ₃ BO ₃ (100—150); CO ₂ (700—2000); H ₂ S (10—20)	20—60	Берегово, Вышково, Шаян, Терребля, Ольховцы, Данилово
HCO ₃ —SO ₄ —Na; M<2 Cl—HCO ₃ —Ca—Na; <1,5; 6,5—7	N ₂	H ₂ S (10—63); CO ₂ (<1700); H ₂ SiO ₃ (<90)	10—16	Пацканово, санаторий Синяк, скв. 5 (Выголат-Гутинская гряда)

Радоновые воды имеют локальное развитие в пределах распространения магматических и эффузивно-осадочных пород рифей-палеозоя Раховского массива, местами обогащенных радиоактивной минерализацией.

Минеральные воды типа Нафтуся, обогащенные биологически активным органическим веществом, формируются на локальных участках зоны интенсивного водообмена в комплексе битуминозных молассовых отложений Предкарпатского прогиба.

Предкарпатский район минеральных вод располагается в пределах внутренней зоны Предкарпатского краевого прогиба. В Предкарпатском районе выделяют Дрогобычскую, Долинскую и Бориславскую структурные зоны. Формирование прогиба приурочено к орогенной стадии развития Карпатской геосинклинали. Район характеризуется полным разрезом от верхнего мела до сармата включительно, широким развитием молассовых и флишевых толщ мощностью в несколько километров. Наиболее дислоцирована Бориславская зона, где расположены крупные нефтяные месторождения, приуроченные к толщам палеоценовых и верхнеэоценовых песчаников. С миоценовой соленосной толщей в районе связаны месторождения калийной и поваренной солей и озокерита. Надвиговой характер геологических структур определяет гидрогеологическую закрытость недр. Разгрузка вод глубоких горизонтов происходит здесь по отдельным тектоническим разломам. В целом молассовые и флишевые отложения характеризуются низкой водопроницаемостью. Водоносные горизонты нижнесарматских отложений Внешней зоны Предкарпатского прогиба гидравлически связаны с водоносными горизонтами стебнинской свиты Внутренней зоны.

В гидрогеологическом разрезе района выделяются два водоносных комплекса: мел-палеогеновый (флишевого основания) и неогеновый (молассовый). Мел-палеогеновый водоносный комплекс в нижней части представлен чередованием пачек песчано-глинистого флиша с прослоями пестроцветных кремнистых мергелей и известняков (до 0,9 км). Палеоэоценовая его часть сложена песчаниковым флишем, горизонтами аргиллитов и мергелей мощностью до 3 км в Скибовой зоне и до 0,7 км в Беркутско-Раховской зоне; верхняя олигоценая часть — глинистым флишем мощностью до 2 км. В палеогеновых отложениях встречены пласты и пачки песчаников с хорошими коллекторскими свойствами, которые содержат залежи нефти. Глубины залегания мел-палеогенового комплекса от 2 до 6 км. Отдельными нефтеразведочными скважинами глубиной более 2,5 км вскрыты крепкие хлоридные натриевые и хлоридные кальциево-натриевые рассолы с повышенными содержаниями брома, йода и бора. Из-за больших глубин залегания и низкой водопроницаемости пород этот комплекс практического значения не имеет.

Неогеновый водоносный комплекс сложен преимущественно слабо проницаемыми песчано-глинистыми отложениями с залежами гипса, калийной и каменной солей. Отложения воротыщенской и стебнинской серий миоцена имеют в основном глинистый состав и являются водоупорными.

Общая мощность комплекса достигает 2,5 км. В связи с наличием каменной соли, гипсов, ангидритов в Предкарпатском районе распространены высокоминерализованные воды и рассолы хлоридного натриевого и магнево-натриевого состава с минерализацией до 330 г/л (курорт Моршин и др.). В них отмечаются повышенные содержания брома, йода и бора.

За счет миграции углеводородов из палеогеновых отложений по зонам тектонических нарушений в горизонты неогенового комплекса и их окисления формируются сероводородные воды (г. Трускавец и др.). Концентрации сероводорода в водах составляют 20—150 мг/л и более. Химический состав сероводородных вод пестрый, от хлоридно-сульфатных с минерализацией 3—5 г/л до сульфатно-хлоридных и хлоридных рассолов с минерализацией 300—330 г/л.

Воды, обогащенные биологически активным органическим веществом, используются для лечебных целей в районах городов Трускавец, Борислав и др. Они встречены на отдельных участках в верхней промытой части отложений неоген-четвертичного возраста. По составу воды гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией до 1 г/л (ист. Нафтуса). Их формирование происходит в процессе окисления органических веществ, содержащихся в песчано-глинистых отложениях среднего миоцена.

Карпатский район минеральных вод находится в пределах Внешних Карпат. В гидрогеологическом разрезе района выделяют рифей-палеозойский и юрско-палеогеновый водоносные комплексы. Рифей-палеозойский водоносный комплекс представлен кристаллическими сланцами, гнейсами, амфиболитами и гранитами, перекрытыми терригенной сероцветной, угленосной и красноцветной формациями верхнего палеозоя с прослоями туфов и гипса. Он имеет распространение только в пределах Раховского массива и Чивгинских гор. На отдельных участках распространения гранито-гнейсов, гранитов, пегматитов и угленосных пестроцветных пород отмечена повышенная радиоактивность. Здесь развиты радоновые воды (источники в Раховском массиве) с концентрацией радона до 1000 Бк/л. Воды эти слабоминерализованные (до 2 г/л), гидрокарбонатного натриевого состава. Дебиты источников достигают 0,2—1 л/с, температура 8—10 °С, рН = 6,5—7,5.

Юрско-палеогеновый водоносный комплекс сложен монотонной толщей переслаивающихся песчаников, глинистых сланцев, мергелей и известняков. Соленосные отложения отсутствуют. Его мощность в синклинойной зоне более 5 км.

Наиболее водопроницаемыми породами являются трещиноватые песчаники палеогена. Сильно расчлененный рельеф района и наличие крупных тектонических нарушений определяют формирование мощной (до 1 км) зоны интенсивного водообмена. В этом комплексе, в юго-западной части района, примыкающей к зоне молодого вулканизма, широкое развитие имеют углекислые воды, обогащенные железом, мышьяком, бором, фтором и другими элементами (см. табл. 8.1).

Большая часть источников углекислых вод имеет выход в антиклинорной наиболее приподнятой части Внешних Карпат. Они имеют четкую связь с зонами тектонических нарушений. Углекислые воды разгружаются в долинах рек, прорезающих основные геологические структуры. Учитывая эрозионно-тектоническую природу долин рек, выходы углекислых вод находятся, как правило, в узлах пересечения зон разломов северо-западного и северо-восточного или субмеридионального простирания. По данным разведки, месторождения углекислых вод синклинорной зоны (Сойминское, Келечинское и др.) приурочены к флишевым отложениям эоцена, образующим брахиантиклинальные складки со сложной системой разломов. В этой зоне воды имеют хлоридно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый состав с минерализацией их 5—12, редко до 30 г/л. Встречаются также воды с более низкой минерализацией (1—2 г/л) гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава. В них наблюдается повышенное содержание бора: ист. Верхне-Быстрый — $\text{H}_3\text{BO}_3 = 141$ мг/л; Сойминское месторождение — $\text{H}_3\text{BO}_3 = 80$ мг/л, $\text{pH} = 6,5\text{—}6,9$. В этих водах содержится железо до 40 мг/л (Келечинское месторождение — $\text{Fe} = 18\text{—}38$ мг/л). Содержание CO_2 в водах антиклинорной зоны изменяется от 1 до 3 г/л (Сойминское месторождение — CO_2 от 1,7 до 2,5 г/л). Температура углекислых вод составляет 8—15 °С. Дебиты источников находятся в пределах от 0,1 до нескольких л/с.

В антиклинорной зоне углекислые воды имеют минерализацию 4—30 г/л и гидрокарбонатный магниево-кальциевый и натриевый состав (источники Поляна Квасова, Пасека, Драчино). Вблизи Раховского массива распространены углекислые хлоридно-гидрокарбонатные натриевые воды (Квасы Раховские) с повышенными содержаниями мышьяка (до 43 мг/л), железа (до 25 мг/л), бора (H_3BO_3 до 633 мг/л), брома (до 60 мг/л) и йода (до 17 мг/л). В северо-западной части района в углекислых водах хлоридного натриевого состава (ист. Соль, завод розлива) с минерализацией 1—10 г/л установлены повышенные содержания бора (H_3BO_3 до 140 мг/л).

В пределах распространения углекислых вод содержание бора в них увеличивается в направлении с северо-запада на юго-восток и находится в прямой зависимости от общей минерализации, щелочных элементов, хлора и углекислоты.

Формирование углекислых вод связано с постмагматическими и термометаморфическими процессами. Этими же процессами обусловлены высокие концентрации в водах бора, мышьяка, фтора, сурьмы и ртути.

Таким образом, Карпатский район характеризуется широким распространением углекислых преимущественно холодных (8—25 °С) минеральных вод, обогащенных бором, мышьяком, железом, сурьмой, ртутью и другими элементами. Он находится в пределах Южного (Средиземноморского) бороносного пояса.

Закарпатский район минеральных вод представляет собой внутренний прогиб, заполненный неогеновыми терригенными соленосными и вулканогенно-осадочными формациями моласс. Строение складчатого фундамента осложнено надвигами и сбросами. Отложения моласс образуют пологие складки, прорванные в восточной части района (Солотвинская впадина) соляными штоками. Андезито-базальты Выгорлат-Гутинской гряды обогащены сульфидами (пирит, марказит). Геотермический градиент Закарпатского района составляет 35,7 °С/км и является наиболее высоким в Карпатской области, что определяет повышенные температуры минеральных вод. На площади развития солянокупольных структур в Солотвинской впадине установлена высокая нефтегазоносность в отложениях неогена. На Терблинской структуре получены промышленные притоки газа из пород верхнего мела. Это обстоятельство указывает на наличие благоприятных условий в Закарпатском прогибе для формирования сероводородных вод. В зоне, примыкающей непосредственно к Припаннонскому глубинному разлому (южная часть района), распространены углекислые воды. Мощность неогеновых моласс увеличивается в юго-западном направлении, достигая 5,5 км, поэтому воды более древних отложений практического значения не имеет.

В гидрогеологическом разрезе района выделяют два водоносных комплекса: миоцен-плиоценовый молассовый и верхнеплиоценовый — вулканических образований.

Миоцен-плиоценовый водоносный комплекс с углекислыми водами распространен в Чоп-Мукачевской и Солотвинской впадинах. Водоносны алевролиты и песчаники солотвинской и терблинской свит. Химический состав вод определяется наличием соленосных и гипс-ангидритовых горизонтов.

Водообильность пород слабая. Дебиты источников и скважин обычно не превышают 1,5 л/с.

В верхней части разреза распространены пресные гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магниевые воды. По скв. 2-Т (г. Берегово) на глубине 870 м вскрыты термальные (60 °С) углекислые ($\text{CO}_2=0,7$ г/л) воды хлоридного натриевого состава с минерализацией 19 г/л. На участках соляных штоков минерализация вод достигает 300—350 г/л, они становятся хлоридными натриевыми и кальциево-натриевыми, иногда с высоким содержанием иода (до 65 мг/л), брома (до 9000 мг/л) и бора (до 100 мг/л и более). В ильницкой и чопской свитах плиоцена водоносны туфы, песчаники и песчано-галечниковые отложения. Мощность водосодержащих слоев 3—25 м, дебит скважин достигает 3 л/с.

Основная область питания подземных вод Закарпатского артезианского бассейна — Выгорлат-Гутинский хребет. Углекислые воды Закарпатского района локализованы в пределах зоны Припаннонского разлома. Кроме района г. Берегово, углекислые воды развиты в районах сел Вышково, Шаян и др. В с. Вышково скважиной 974 вскрыты гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды с содержанием CO_2 до 2 г/л. В моласовом комплексе Солотвинской впадины встречены слабосероводородные воды с концентрацией H_2S 10—20 мг/л (села Теребля, Ольховцы, Данилово и др.). Наибольшие количества кремнекислоты (до 150 мг/л) в моласовом водоносном комплексе установлены в углекислых водах с повышенной температурой (20—60 °С).

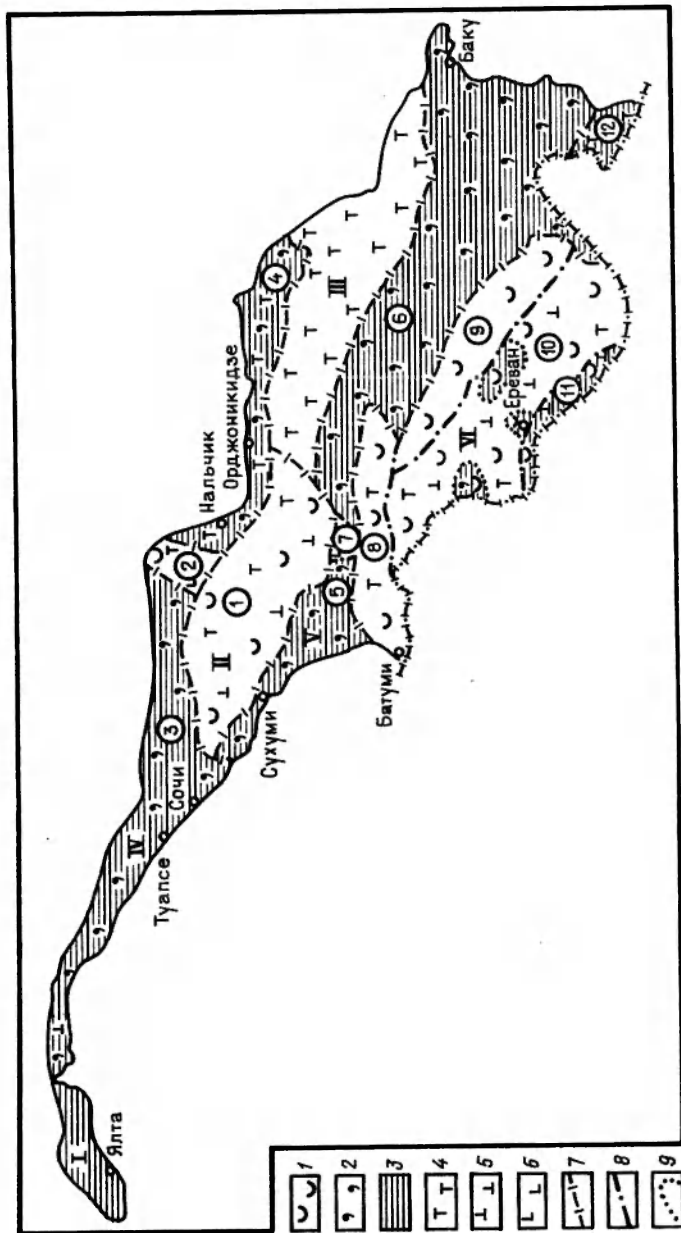
Верхнеплиоценовый водоносный комплекс приурочен к зоне выветривания и трещиноватости вулканических пород Выгорлат-Гутинской гряды. Мощность зоны выветривания не превышает 50 м. Зоны крупных разломов пересекают толщу пород на всю ее мощность. В зоне выветривания формируются грунтовые воды, имеющие гидрокарбонатный кальциевый или натриевый состав с минерализацией до 1 г/л. В связи с окислением сульфидной минерализации, при участии растительной органики, в этом комплексе местами формируются слабосероводородные воды. Они используются для лечебных целей в санатории «Синяк», где содержание H_2S в воде составляет 10—30 мг/л. Максимальное количество сероводорода (до 63 мг/л) определено в источнике № 6 (с. Пацканово Ужгородского района). По химическому составу сероводородные воды преимущественно сульфатные натриево-кальциевые с минерализацией 0,3—2 г/л. Дебиты источников и скважин не превышают 0,6 л/с. Воды холодные с температурой 10—16 °С.

Углекислые воды выходят на поверхность и вскрыты одиночными скважинами в зонах разломов глубокого заложения. Ужгородское месторождение углекислых вод приурочено к трещиноватым туфам гутинской свиты, осложненным ортогональной системой глубинных разломов. Здесь скв. 5 на глубине 80—122 м вскрыта хлоридно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая вода с минерализацией 1,5 г/л, содержанием CO_2 до 1,7 г/л и H_2SiO_3 до 90 мг/л.

Крымско-Кавказская область минеральных вод включает сооружения Горного Крыма, Большого и Малого Кавказа. Горный Крым представляет собой позднекиммерийский прогиб, возникший в западной части Крымско-Кавказско-Копетдагской мезозойской геосинклинали. Он выполнен триасовыми и юрскими терригенными флишоидными и карбонатными отложениями. Вместе с тем Горный Крым относится к альпийской складчатости, так как на орогенном этапе развития испытал активное поднятие, в результате которого был образован Крымский мегантиклинорий. Ядро, северное и южное крылья представляют собой его главные структурные элементы. Северное крыло плавно переходит в чехол Скифской плиты. Южное — прослеживается в краевой части Черноморских впадин.

На востоке Горный Крым отделяется от Большого Кавказа Керченско-Таманской зоной погружения с широким развитием брахискладчатых структур и современного грязевого вулканизма. Мегантиклинорий Большого Кавказа образовался в том же сегменте Альпийского складчатого пояса, что и Горный Крым. Однако он имеет более сложное и длительное геосинклинальное развитие вплоть до кайнозоя, которое завершилось созданием высокогорного складчатого сооружения. Главные структурные элементы Большого Кавказа — ядро, сложенное докембрийскими и палеозойскими породами комплекса основания, структуры, окружающие его, сложенные мезозойскими, кайнозойскими осадочными и осадочно-вулканическими толщами.

Северное крыло Большого Кавказа представляет собой пологую моноклираль, выполненную отложениями платформенного типа. Здесь выделяется Минералводский тектонический выступ, образованный Транскавказским поперечным поднятием. В его пределах находятся вулканические центры кислых плиоцен-четвертичных извержений и плиоценовые граносиенитовые интрузивы. В южной части моноклинали имеется выступ доюрского основания Передового хребта. Северная граница Большого Кавказа представлена Тырн-аузским тектоническим швом.



Большой Кавказ отделен от Малого Кавказа закавказской межгорной зоной, представляющей собой срединные массивы с допалеозойским основанием. Чехлы срединных массивов (Грузинский, Азербайджанский) сложены мезозойскими осадочно-вулканогенными образованиями и позднекайнозойскими молассами. Они выполняют Рионскую и Куринскую межгорные впадины. Складчатое сооружение Малого Кавказа было сформировано на месте раннеальпийского эвгеосинклинального прогиба. В строении Малого Кавказа огромную роль играют мезозойско-кайнозойские вулканиты и интрузии. В северной его части расположена Аджаро-Триалетская складчатая зона, наложенная на южную часть Грузинского срединного массива. Южнее находится Сомхето-Карабахская антиклинальная, Севанская синклинальная и Мисхано-Зангезурская антиклинальная зоны. Малый Кавказ на юге обрамляется Среднеараксинским межгорным прогибом, в пределах которого располагаются Араратская, Нахичеванская и другие впадины, наложенные на срединный массив.

По особенностям геологического строения, истории развития, условиям формирования и распространения минеральных вод в Крымско-Кавказской области выделяют следующие районы: Горного Крыма, Центрального Кавказа, Восточного Кавказа, Северного Кавказа, Закавказья и Малого Кавказа (рис. 8.2).

Район минеральных вод Горного Крыма. История геологического развития Горного Крыма характеризуется завершенностью геосинклинального этапа в конце киммерийского цикла, глубоким (4—5 км) залеганием пород кристаллического фундамента и вовлеченностью на орогенном этапе в активные поднятия альпийского горообразовательного цикла. Район характеризуется большой мощностью земной коры, которая сокращается в южном и северном направлениях. В его строении выделяют: Качинский, Туанский и Южно-

Рис. 8.2. Крымско-Кавказская область углекислых сероводородных, борных вод и кремнистых терм.

Районы: I — Горный Крым; II — Центральный Кавказ; III — Восточный Кавказ; IV — Северный Кавказ; V — Закавказье; VI — Малый Кавказ. Участки (цифры в кружках): 1 — Центрального поднятия; 2 — Кавказский Минеральных вод; 3 — Северо-Западный; 4 — Северо-Восточный; 5 — Рионский; 6 — Куринский; 7 — Дзирульский; 8 — Аджаро-Триалетский; 9 — Самхето-Карабахский; 10 — Армянский; 11 — Средне-Араксинский; 12 — Талышский. Типы минеральных вод: 1 — углекислые; 2 — сероводородные; 3 — хлоридные с повышенным содержанием брома, реже иода; 4 — кремнистые; 5 — борные; 6 — радоновые. Границы: 7 — района; 8 — участка; 9 — площади

бережный антиклинории; Юго-Западный, Северо-Восточный и Судакский синклинории. В пределах актиклинориев на поверхность выходят породы нижнего структурного этажа, представленные отложениями верхнего триаса и средней юры. В синклинориях на размытой поверхности пород нижнего структурного этажа залегают верхнеюрские и нижнемеловые породы, образующие второй структурный этаж. Ядро Горного Крыма перекрыто несогласно залегающей толщей верхнего альба, верхнего мела, палеогена и неогена, которая образует третий структурный этаж. Эти отложения имеют широкое развитие на северном крыле мегантиклинория и его периклинальном замыкании — Керченском полуострове.

В истории развития Горного Крыма различают два основных этапа: киммерийский геосинклинальный и альпийский орогенный. В геосинклинальный этап были сформированы осадочные и осадочно-вулканогенные толщи и образованы складчатые структуры ядра мегантиклинория Горного Крыма.

В орогенный этап развития были созданы следующие основные структурные элементы: мегантиклинорий Горного Крыма; складки, осложняющие его крылья, особенно на Керченском полуострове, и многочисленные разломы.

Основными водоносными комплексами Горного Крыма являются: верхнетриасово-среднеюрский, верхнеюрско-нижнемеловой и верхнемеловой-неогеновый (табл. 8.2). Верхнетриасово-среднеюрский водоносный комплекс представлен глинистыми сланцами с прослоями песчаников верхнего триаса и средней юры. Общая его мощность достигает нескольких километров. Водоносность комплекса связана с зонами разломов и трещинами. В пределах антиклинориев водоносный комплекс залегает с поверхности, а в синклинориях погружается до глубины 2—3 км. В районе г. Ялты в зоне разлома на глубинах от 700 до 2257 м была вскрыта минеральная вода хлоридного натриевого состава с минерализацией до 50 г/л (скв. 17). Температура ее на глубине 1300 м составляет 27 °С, а на глубине 2257 м 77 °С. Дебит скважины на самоизливе составил 0,01 л/с.

При проходке Ялтинского тоннеля в водоносном комплексе вскрыты источники с минеральной водой «Ялтинская». По составу вода гидрокарбонатно-хлоридная натриевая с минерализацией 7,2 г/л, содержит высокие концентрации иода (до 70 мг/л). Минеральные воды хлоридного натриевого состава были вскрыты отдельными скважинами в районах городов Алупки, Бахчисарая и др. Они характеризуются высокой минерализацией (до 50 г/л), повышенным содержанием иода (до 70 г/л), а иногда и наличием сероводорода

(до 26 мг/л) (ист. Аджи-Су, с. Поляна). Дебиты источников составляют 0,01—0,2 л/с. Сульфатные воды данного комплекса формируются в зоне выветривания глинистых сланцев верхнего триаса (таврическая свита), обогащенных сульфидами металлов. Минерализация вод находится в пределах 2—10 г/л (ист. Меллас). Отдельные источники содержат повышенные количества сероводорода, что обусловлено разложением растительной органики. В районе г. Ялты в водах комплекса отмечается невысокое содержание углекислого газа (до 250 мг/л — ист. Козий).

Верхнеюрско-нижнемеловой водоносный комплекс в пределах Судакского синклинория представлен карбонатными и песчано-глинистыми отложениями общей мощностью до 4 км и более. Верхнеюрские известняки представляют собой основной коллектор подземных вод. Воды трещинные и трещинно-карстовые, в верхней зоне слабоминерализованные гидрокарбонатного кальциевого состава. Они используются для питьевого водоснабжения. В нижней зоне в пределах Северо-Восточного и Судакского синклинориев вскрыты хлоридные, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией 3—35 г/л (скв. 1033 в с. Поворотное, кол. 26 в с. Планерское, ист. Кафа, г. Феодосия и др.).

Источник Кафа «Крымский нарзан» из-за загрязнения не используется. В этом комплексе также распространены гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные воды с минерализацией 2—5 г/л. В отдельных водопунктах (ист. 30, г. Судак и др.) они содержат сероводород до 50 мг/л. Дебиты минеральных источников и скважин колеблются в широких пределах — от 0,1 л/с до нескольких десятков. Температура вод составляет 10—50 °С.

Верхнемеловой-неогеновый водоносный комплекс сложен мергелями, известняками, песчаниками и глинами. Он имеет развитие в северной и восточной периферийных частях Горного Крыма. Общая мощность комплекса составляет несколько сотен метров. Наибольшим разнообразием типов минеральных вод характеризуются районы г. Феодосии и Керченского полуострова. Феодосийское месторождение минеральных вод приурочено к трещиноватым зонам в меловых и палеоценовых мергелях. Воды питьевые — лечебные, хлоридно-сульфатные натриевые с минерализацией до 4,7—7 г/л. В районе г. Феодосии известны также сероводородные воды. Они имеют выход в виде источников или вскрыты отдельными скважинами (ист. 20, с. Ключевая, скв. 20, с. Ближнее) и содержат H_2S до 150 мг/л. По химическому составу воды хлоридные натриевые с минерализацией от 3 до 35 г/л.

Т а б л и ц а 8.2

Крымско-Кавказская область углекислых, сероводородных, борных

Районы и участки минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Район Горного Крыма	<p>Хлоридные, хлоридно-гидрокарбонатные, сульфатные натриевые, йодные</p> <p>Хлоридные, хлоридно-гидрокарбонатные, сульфатные натриевые</p> <p>Хлоридные, хлоридно-сульфатные, сульфатные натриевые, сероводородные, йодобромные, борные, редко углекислые</p>	<p>1. Верхнетриасово-среднеюрский; глинистые сланцы с прослоями песчаников таурической свиты</p> <p>2. Верхнеюрско-нижнемеловой, карбонатные и песчано-глинистые отложения</p> <p>3. Верхнемеловой - неогеновый; мергели, известняки, песчаники и глины</p>
II. Район Центрального Кавказа I. Участок Центрального поднятия	<p>Углекислые, железистые, кремнистые, борные и мышьяковистые, гидрокарбонатные кальциевые, сульфатные и сульфатно-хлоридные натриевые</p> <p>Углекислые, кремнистые, бромные, гидрокарбонатно-хлоридные, сульфатно-гидрокарбонатные и хлоридно-гидрокарбонатные</p> <p>Углекислые, слаборадоновые</p>	<p>1. Докембрийско-палеозойский; кристаллические сланцы, гнейсы, амфиболиты, филлиты, мраморы и туфы, песчаники, конгломераты с прослоями углей</p> <p>2. Юрско-эоценовый; несчано-глинистые (аспидные) сланцы, вулканиты и терригенно-карбонатные флишевые отложения с прослоями гипса и ангидрита</p> <p>3. Неоген-четвертичный; изверженные породы, трахипариты, дациты, граносиениты и туфы, элювиально-делювиальные отложения и травертины</p>

вод и кремнистых терм

Физико-химическая характеристика минеральных вод				Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л, Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na, HCO ₃ —Cl—Na, SO ₄ —Na; 2—50; 6,5—7,5	N ₂ , CO ₂ , CH ₄	I (5—70); CO ₂ (<250); H ₂ S (20—30)	10—80	Ялта, скв. 17, Меллис, Ко- зий, Аджи- Су
Cl—Na, HCO ₃ —Cl—Na, SO ₄ —Na; 3—35; 6,5—7 HCO ₃ —SO ₄ —Na; 2—5; 6,5—7,5	N ₂ , CH ₄	H ₂ S (20—50)	10—60	Планерское, ист. Кафа г. Феодосия, ист. 30 с. Су- дак
Cl—Na, Cl—SO ₄ —Na, SO ₄ —Na; 2—35; 6,5—7,5	N ₂ , CH ₄ , CO ₂	I (5—22); Br (25—80); HBO ₂ (до 1000— 15 006); H ₂ S (до 300); CO ₂ (500—1500);	10—50	Источник Паша-Тепе в г. Феодо- сии, Акме- лез, Марьев- ка, Горно- стаевка
HCO ₃ —Ca, HCO ₃ —Cl—Ca— Na, SO ₄ —Na, SO ₄ —Cl—Na; 1,5; 6,5—7	CO ₂	CO ₂ (1000—3000); Fe (20—90); H ₂ SiO ₃ (50—80); HBO ₂ (<1000— 2400); As (<40)	6—22	Джили-Су, Баксан-Ба- ши, Четет- Лахран, Верхний Кармадон
HCO ₃ —Cl—Na; 10—35; 6,5—7 HCO ₃ —Na; 3—35; 6,5—7 SO ₄ —HCO ₃ — Mg—Ca, Cl—HCO ₃ —Na; 8—16; 6,5—7 HCO ₃ —SO ₄ —Na; 0,5—4; 6,5—7 HCO ₃ —Ca—Na; <1,0; 6—6,8	CO ₂	CO ₂ (500—3300); As (<15); Fe (<25), H ₂ SiO ₃ (<150); HBO ₂ (<3000); I (<10); Br (<100)	4—70	Источники в долинах рек Уллу- Хурзук, Би- тюк-Тюбе, Джемагат, ист. Они, Пасанаури, Важас-Цха- ро, Уцера
	CO ₂ , N ₂	CO ₂ (1000—3500); Rn (<200)	<50	Районы по- тухших вул- канов Эльб- рус, Казбек, Кабарджин и др.

Продолжение табл. 2

Районы и участки минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
2. Участок КМВ	Углекислые, сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые	1. Титон - валанжинский; в нижней части песчаники, глины с прослоями гипса и ангидрита; в верхней части — известняки
	Углекислые, кремнистые, гидрокарбонатно-сульфатные	2. Апт-альбский, песчаники, алевролиты, аргиллиты с прослоями известняков
	Углекислые соляно-щелочные и хлоридные натриевые	3. Верхнемеловой (сеномантуронский); известняки с прослоями мергелей и песчаников
	Углекислые соляно-щелочные сульфатно-гидрокарбонатные и хлоридные натриевые	4. Палеогеновый; песчаники, мергели, аргиллиты
	Радоновые	5. Неоген-четвертичный; изверженные породы: трахилипариты, дациты, граносениты и др.
	Углекислые теплосерные	Элювиально-делювиальные четвертичные отложения и травертины
	Сульфатные и хлоридно-сульфатные магниевонатриевые	Элювиально-делювиальные четвертичные отложения
III. Район Восточного Кавказа	Содовые слабокремнистые термы Содовые слабокремнистые термы	1. Нижнеюрский; глинисто-сланцевые отложения 2. Среднеюрско-меловой; флишевые отложения
	Содовые слабокремнистые термы	3. Кайнозойский; грубообломочные отложения
IV. Район Северного Кавказа 1. Северо-западный участок	Сероводородные, хлоридные натриевые	1. Юрский; известняки

Физико-химическая характеристика минеральных вод				Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л, Рп, Бк/л)	Температура, °С	
SO ₄ —HCO ₃ —Mg—Ca; Cl—HCO ₃ —Na; 5—16; 6—7	CO ₂	CO ₂ (300—3500); Fe (< 30); H ₂ SiO ₃ (< 150); HBO ₂ (< 50); H ₂ S (< 20)	20—70	Кисловодск, Ольховка, Березовка, Подкумок, Эссентуки, Пятигорск, скв. 33
HCO ₃ —SO ₄ —Na; < 4,0; 6—6,8	CO ₂	CO ₂ (500—3000); H ₂ SiO ₃ (< 350)	< 60	Эссентуки, Железноводск, Пятигорск
HCO ₃ —Ca—Na, Cl—Na, Cl—HCO ₃ —Na; 0,5—20; 6—7	CO ₂	CO ₂ (500—3000); H ₂ SiO ₃ (< 100); I (< 10); Br (< 100)	< 50	Пятигорск, Эссентуки, Железноводск
Cl—HCO ₃ —Na, SO ₄ —HCO ₃ —Ca—Na; 3—12; 6—7	CO ₂	CO ₂ (< 3000); H ₂ SiO ₃ (< 80)	10—52	Эссентуки, Железноводск, Пятигорск
HCO ₃ —Ca, SO ₄ —HCO ₃ —Na—Ca; 1—1,5; 6,5—7,5	N ₂	Rn (< 100)	< 30	Бештау, Бык, Верблюд, Железная, Кинжал
HCO ₃ —SO ₄ —Ca—Na; 2—3,5; 6—7	CO ₂	CO ₂ (1000); Rn (< 10 000); H ₂ S (< 20)	18—22	Пятигорск I
SO ₄ —Mg—Na, Cl—SO ₄ —Mg—Na; 19—28; 7—7,5	N ₂	—	< 20	Баталинский
Cl—HCO ₃ —Na; 0,6—1,7; 8—8,5	N ₂	H ₂ SiO ₃ (< 35)	40—60	Торгвасабано, Ели-Су
HCO ₃ —Na; < 2,0; 7,3—8,5	N ₂	H ₂ SiO ₃ (< 50)	36—66	Камерван, Халтан, Ахты
HCO ₃ —Na, Ca—Na; < 1; 7,2—8	N ₂	H ₂ SiO ₃ (< 35)	35—40	Участки разгрузки вод глубоких горизонтов
Cl—Na; 18—42; 6,3—7,2	N ₂ ; H ₂ S; CH ₄	H ₂ S (< 450); Br (< 60); I (< 10)	< 95	Новая Мацеста

Продолжение табл. 3.2

Районы и участки минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
	Сероводородные, йодобромные	2. Меловой; карбонатные отложения
	Йодобромные, сероводородные, хлоридные натриевые	3. Палеогеновый; песчано-глинистые отложения
2. Северо-восточный участок	Сероводородные Сероводородные хлоридные натриевые Сероводородные, йодобромные хлоридные натриевые, кремнистые термы	1. Юрско-меловой; карбонатные отложения
V. Закавказье 1. Рионский участок	Хлоридные натриевые бромные Сульфатные кальциевонатриевые слаборадоновые Слабосероводородные, хлоридные натриевые Слабосероводородные, хлоридные натриевые	1. Юрско-нижнемеловой; туфы, порфириты и известняки 2. Верхнемеловой-палеогеновый; известняки и песчано-глинистые осадки 3. Олигоцен-миоценовый; мергели, известняки и глинисто-песчаные отложения
	Слаборадоновые и хлоридные натриевые	4. Плиоцен-антропогенный; молассы, аллювий
2. Куринский участок	Слабосероводородные, йодобромные, хлоридные натриевые	1. Верхнемеловой-палеогеновый; карбонатные и песчано-глинистые осадки

Физико-химическая характеристика минеральных вод				Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л, Рп, Бк/л)	Температура, °С	
Cl—Na; <25; 7—8,5	H ₂ S; CH ₄ ; N ₂	H ₂ S (<120); I (<46); Br (<100); H ₂ SiO ₃ (<60)	<60	Кудепста, Ходыженск
SO ₄ —Ca—Mg— Na; <5; 3	N ₂	Fe (<20); H ₂ SiO ₃ (<100)	<25	Источник Кислый — станция Бесстраш- ная
HCO ₃ —Cl—Na; <5; 7—7,5	N ₂ ; CH ₄	H ₂ S (<120)	<60	Горячий Ключ, Э скв. 102
Cl—Na; <25; 7,3—8	N ₂ ; CH ₄	I (<25); Br (<150); H ₂ SiO ₃ (<60)	<65	Майкоп, скв. 8
SO ₄ —Mg—Ca; <5; 6,9	H ₂ S	H ₂ S (<250)	<17	Тамиск
Cl—Na; 27; 7,4	H ₂ S	H ₂ S (<1100)	<18	Орджони- кидзе, скв. 2-р
Cl—Na; <50; 7,5	H ₂ S; CH ₄	H ₂ S (56—700); H ₂ SiO ₃ (<100); Br (<160); I (<13)	<77	Датых, ис- точники Чанты-Ар- гунские, Талги
Cl—Na; <55; 7	N ₂	Br (<165)	39,5—81	Лугела
SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Ca— Na; <2; 7,3	CH ₄	Rn (<120)	<40	Ткварчели, Цанши, Цхалтубо
Cl—Na; <15; 7,3—8,4	H ₂ S; CH ₄	H ₂ S (<65)	<50	Менджи, Сухуми
Cl—Na, Ca—Na; <20; 7—7,5	H ₂ S; CH ₄	H ₂ S (<150)	<50	Район неф- тяного мес- торождения Супса
Cl—HCO ₃ —SO ₄ ; 0,8; 6,9	N ₂	Rn (<120)	<35	Цхалтубо
Cl—Na; <20; 7—7,5			<15	Квалони, Хорги
Cl—Na, Ca—Na; M < 15	H ₂ S; CH ₄	H ₂ S (<160); I (<30); Br (<40); Rn (<120)	<50	Далляр, Хильми, Диаллы

Продолжение табл. №2

Районы и участки минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
	Слабосероводородные йодобромные	2. Оligоцен-миоценовый; песчано-глинистые отложения
	Крепкие сероводородные, йодобромные, хлоридные натриевые	3. Плиоцен-антропогенный; мергели, известняки и глинисто-песчаные отложения
3. Дзирульский участок	Слаборадонные	1. Докембрийско-палеозойский; кристаллических и метаморфических пород
VI. Район Малого Кавказа		
1. Аджаро-Триалетский участок	Углекислые, мышьяковистые воды и кремнистые термы	1. Мел-эоценовый; известняки, песчаники, андезитобазальты
2. Самхетский участок	Радоновые, купоросные, железистые	1. Палеозойский; метаморфические сланцы, известняки, песчаники, прорванные гранитоидами
	Углекислые, железистые купоросные	2. Юрско-эоценовый; андезиты, порфириды, туфы, песчаники, карбонатные отложения
	Углекислые кремнистые	3. Оligоцен-плиоценовый; андезиты, базальты, дациты, туфы
3. Армянский участок	Углекислые кремнистые борные	1. Палеозойский; метаморфические сланцы, известняки, песчаники, гранитоиды
	Углекислые кремнистые борные	2. Юрско-эоценовый; вулканогенно-осадочные и флишевые отложения, гранитоиды

Физико-химическая характеристика минеральных вод				Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л, Rn, Бк/л)	Температура, °С	
HCO ₃ —Cl—Na; <10; 6,5—7,5	H ₂ S; CH ₄	H ₂ S (<100); Br (<38); Rn (<120)	<35	Нафталан, скв. 76, нефтегазоносные площади Тарибана, Чобандаг
Cl—Na, HCO ₃ —Cl—Na; 10—200; 6—7,5	H ₂ S; CH ₄	H ₂ S (<400); I (<40); Br (<500); H ₂ SiO ₃ (<100) Rn (<1000)	18—70	Сураханы, Шихово, Нефтечала
HCO ₃ —Ca—Na; <2; 6,5—7	N ₂	Rn (<1000)	10—15	Источники Дзирульско-го массива
HCO ₃ —Na, Cl—HCO ₃ —Na, Cl—Ca—Na; 2—12; 6,5—9,2	CO ₂	CO ₂ (700—5000); Fe (<8); As (0,7—1,5); H ₂ SiO ₃ (<60)	<47	Боржоми, Сайрме, Набеглави, Ахалцихе, Вардзия, Тбилиси
HCO ₃ —Ca—Na, HCO ₃ —Cl—Na, SO ₄ —Ca—Mg; <10; 5—7	N ₂	Rn (1000); Fe (<20); Cu, Al, Mo	8—15	Алаверди, источники Горного Карабаха
HCO ₃ —Ca—Mg, SO ₄ —HCO ₃ —Ca—Na; <7; 6,2—6,8	CO ₂	CO ₂ (500—1500); Fe (10—12 000); H ₂ SiO ₃ (<200)	8—15	Агвиджур, Лысогорский, Славянка, Дашкесан
HCO ₃ —Mg—Ca; <1; 6,5—6,8	CO ₂	CO ₂ (1000—2000); H ₂ SiO ₃ (<100)	8—10	Ахпат
HCO ₃ —Na, HCO ₃ —Cl—Na—Ca; 2—10; 6,5—7	CO ₂	CO ₂ (500—2500); H ₂ SiO ₃ (<200); HBO ₂ (<120)	8—45	Улашик, Анкаван, Арзакан
HCO ₃ —Na, HCO ₃ —Cl—Na—Ca, Cl—HCO ₃ —Na; 2—10; 6—7	CO ₂	CO ₂ (500—2500); H ₂ SiO ₃ (<200); HBO ₂ (<400)	8—60	Бжни, Дилижан, Бадамлы, Саят-Нова

Продолжение табл. 2

Районы и участки минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
	Углекислые, мышьяковистые, железистые, кремнистые, борные, радоновые, сероводородные, йодные, хлоридные, натриевые	3. Оligоцен-плиоценовый; андезито-базальты, дациты, туфы, соленосные и гипсоносные отложения, травертины
4. Средне-араксинский участок	Углекислые	1. Палеозойский; известняки, песчаники, глинистые сланцы
	Углекислые мышьяковистые, борные, йодные, хлоридные натриевые	2. Юрско-эоценовый; известняки, мергели, песчаники, глины, вулканогенно-осадочные образования, порфириды
	Углекислые, борные, йодные, хлоридные натриевые	3. Оligоцен-плиоценовый; песчано-глинистые соленосные и гипсоносные осадки, вулканогенные образования, травертины
5. Талышский участок	Кремнистые, йодные, хлоридные натриевые	1. Мел-эоценовый; порфириды, андезиты, базальты, туфы, песчаники, мергели, глины
	Кремнистые термы, йодные	2. Оligоцен-плиоценовый; андезито-базальты, туфы, песчаники, алевриты, известняки

В водах источника «Акмелез» установлены высокие содержания бора ($\text{HBO}_2 = 1000 \text{ мг/л}$). Наличие борных вод может быть объяснено проявлением датолитовой минерализации.

На периклинальном замыкании мегантиклинория в пределах Керчинского полуострова, кроме широкого развития хлоридных и сульфатных высокоминерализованных вод и рассолов, известны сероводородные и углекислые воды. Горностаевское месторождение углекислых вод (Сент-Элин-

Физико-химическая характеристика минеральных вод				Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л, Рп, Бк/л)	Температура, °С	
HCO ₃ —Ca—Mg; <3; 6,5—6,8 HCO ₃ —Na; 4—6; 6,5—7 HCO ₃ —Cl—Na, Cl—HCO ₃ —Na, Cl—HCO ₃ —Ca— Na; 1,5—15; 6—8 HCO ₃ —SO ₄ —Na; <5; 6,5—7 Cl—Na; <100; 5,5—6,5	CO ₂ ; H ₂ S; CH ₄	CO ₂ (05—2,5); As (<15); H ₂ SiO ₃ (<200); Fe (до 150); HBO ₂ (<400); Rn (<150 000); I (<65) H ₂ S (<250)	4—72	Гукасян, Амасия, Ахурик, Арзни, Исти-Су, Горбатех, Багырсах, Джермук, Птгни, Раздан
HCO ₃ —Ca—Na; <2; 6,5—6,8	CO ₂	CO ₂ (500—1000)	<25	Арарат, скв. 1
Cl—HCO ₃ —Na, Cl—Na; <50; 6,5—8	CO ₂	CO ₂ (300—2000); As (<120); HBO ₂ (<2400); I (<16); H ₂ SiO ₃ (<350)	<83	Двин, Азатаван, Кара-Кала, Дфульфа
HCO ₃ —Cl—Mg— Na; HCO ₃ —Cl—Na— Ca, SO ₄ —Cl—Na— Ca; 1—5; 5,8—6,8	CO ₂	CO ₂ (500—2000); HBO ₂ (<400); I (<10)	<25	Арарат, Абовян, Советашен
HCO ₃ —Cl—Ca— Na, Cl—Na, Cl—Na—Ca; <35; 7—8,5	N ₂ ; CH ₄	H ₂ SiO ₃ (<150); I (<60)	<65	Алашинские источники, Мешису
HCO ₃ —Cl—Ca— Na; 12; 7—8	N ₂ ; CH ₄	H ₂ SiO ₃ (<100); I (<20)	<45	Ибадису

ские источники) приурочено к чокракским известнякам среднего миоцена. Оно отличается сложным геологическим строением, обусловленным деятельностью грязевого вулканизма. По химическому составу воды хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 8—12 г/л. Содержания углекислоты колеблются в пределах 0,5—1,5 г/л. В водах отмечены повышенные количества йода (до 22 мг/л), брома (до 60 мг/л), бора (H₂BO₂ до 1400 мг/л), сероводорода

(до 30 мг/л). Дебиты источников 0,2—1 л/с. По скв. 49 дебит составлял 22 л/с. Происхождение CO_2 минеральных вод может быть объяснено не только за счет процессов термометаморфизма, но и окисления залежей углеводов.

В южной части Керченского полуострова в районах сел Марьевка, Марфовка и других распространены сероводородные воды. Выходы источников приурочены к чокракским битуминозным известнякам. Сероводородные воды с содержанием H_2S 150—300 мг/л по составу хлоридные, сульфатно-хлоридные или хлоридно-сульфатные натриевые с минерализацией 5—15 г/л. Меньшие количества сероводорода (до 20—50 мг/л) установлены в хлоридно-гидрокарбонатных натриевых водах. Дебит источников составляет 0,03—2,0 л/с. Температура воды от 15 до 54 °С. Формирование сероводорода в водах происходит за счет окисления углеводородных залежей, расположенных в отложениях палеогена и неогена в северной части Керченского полуострова. В хлоридно-гидрокарбонатных и хлоридно-сульфатных натриевых водах с минерализацией более 10 г/л встречаются высокие содержания йода (до 30 мг/л), брома (до 80 мг/л) и бора (до 100 мг/л — скв. 48, с. Приозерное).

Район минеральных вод Центрального Кавказа. Северная граница района проходит по Лабино-Малкинской и Тырнаузской зонам глубинных разломов, которые отделяют его от Северо-Кавказского района. На юге граница проходит также по зоне глубинных разломов, отделяющих Главный хребет от срединных массивов Закавказья. Наиболее древние в районе — образования складчато-метаморфического комплекса основания Большого Кавказа, имеющие широкие площади выходов на поверхность. Сложены они кристаллическими сланцами и гнейсами нижнего и среднего палеозоя. Верхний палеозой представлен пестроцветными песчано-глинистыми отложениями.

Антиклинорий Главного хребта представляет собой горст и имеет блоковое строение, выраженное несколькими выступами основания, которые разделяются узкими грабен-синклинориями, заполненными юрскими отложениями. Район минеральных вод Центрального Кавказа охватывает наиболее приподнятые участки Главного хребта и Минералводский выступ. Он соответствует зоне углекислых вод Центрального Кавказа, выделенной А. М. Овчинниковым. С позднеорогенной активизацией Центрального Кавказа связано проявление магматизма в зонах разломов Транскавказского поперечного поднятия и на смежных участках Лабино-Малкинской и Тырнаузской шовных зон, где располагаются вулканические

центры кислых наземных плиоцен-четвертичных извержений и плиоценовые интрузии Эльбрусской вулканической области.

На севере этой области находятся известные лакколлиты КМВ (Бештау, Машук, Бык, Верблюд и др.). В разрезе главного геосинклинального комплекса выделяют: нижнеюрско-ааленский (нижний), среднеюрский (средний) и верхнеюрско-эоценовый (верхний) структурные этажи. Нижний этаж образован глинистыми и аспидными сланцами, содержащими вулканиты. Мощность отложений составляет 3—5 км. Средний этаж представлен песчано-глинистыми и вулканогенными формациями мощностью до 2,5 км. В его нижней части залегают угленосные отложения. Вулканогенные породы основного состава мощностью до 3 км распространены преимущественно по южному склону Большого Кавказа. Верхний этаж образован карбонатным и терригенно-карбонатным флишем, широко развитым в пределах южного склона Большого Кавказа.

В Центральной части района в карбонатных отложениях верхней юры встречаются пласты эвапоритов.

На Центральном Кавказе выделяют следующие основные водоносные этажи: докембрийско-палеозойский, юрско-эоценовый и олигоцен-четвертичный (см. табл. 8.2).

Докембрийско-палеозойский водоносный этаж имеет мощность до 14 км. Верхняя часть комплекса представлена в основном песчаниками и конгломератами с прослоями углей и туфов. Завершается разрез грубообломочными красными и эффузивами. В связи с интенсивным метаморфизмом пород, их осложненностью многочисленными разрывными нарушениями в докембрийско-палеозойском комплексе развиты преимущественно трещинные воды. В целом водоносный комплекс характеризуется слабой водообильностью. Дебиты источников составляют 0,01—0,05 л/с и лишь в отдельных зонах разломов достигают 2—3 л/с и более. С герцинской и более ранними эпохами рудообразования связаны месторождения Fe, Ni, Cr, Sn, W, As и других металлов. В верхней части комплекса развиты пресные подземные воды гидрокарбонатного кальциевого и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого составов. На участках обогащения пород сульфидами металлов минерализация вод увеличивается до 3—5 г/л и более, и состав их становится сульфатным или хлоридно-сульфатным. Глубина зоны активного водообмена на участках развития интенсивной трещиноватости может достигать 1 км и более.

Центральный Кавказ — район распространения углекислых минеральных вод, формирование которых связано

с молодым вулканизмом и термометаморфизмом. В них в повышенных количествах содержатся Fe (20—90 мг/л), As (до 40 мг/л), H_2SiO_3 (50—80 мг/л) и HNO_2 (до 2400 мг/л). Содержание CO_2 изменяется от 1 до 3 г/л и более. В этом комплексе известно большое число источников углекислых вод (источники Джили-Су, Баксан-Баши, Чегет-Лахран, Верхний Кармадон и др.). На участках развития палеозойских мегматоидных гранитов и красноцветных песчаников отмечаются повышенные концентрации радиоактивных элементов. В связи с этим можно предполагать развитие радоновых вод.

Юрско-эоценовый водоносный этаж имеет распространение в грабен-синклинориях Центрального Кавказа и его краевых зонах. Сложен он песчано-глинистыми (аспидными) сланцами, вулканитами основного состава и терригенно-карбонатным флишем, характеризующимися интенсивной складчатостью. На южном крыле Центрального Кавказа в пределах Абхазо-Рачинской ступени терригенно-карбонатные отложения мезозоя имеют умеренную складчатость. В разрезе флишевых отложений прослеживаются пласты гипса и ангидрита. Максимальная мощность этажа достигает 10 км и более. В грабен-синклинориях Центрального Кавказа трещинные минеральные воды в сланцах нижней и средней юры отличаются повышенной минерализацией и имеют выходы в виде источников в долинах рек Уллу-Хурзук, Витюк-Тюбе, Джемат и др. Водообильность трещинных зон невысокая. Расходы источников не превышают сотых и десятых долей литра в секунду. В верхней зоне углекислые воды гидрокарбонатный натриевый состав с минерализацией 3—5 г/л. С глубиной минерализация вод увеличивается до 10—35 г/л, и химический состав их становится гидрокарбонатно-хлоридным натриевым (источники Они, Пасанаури, Ваяс-Цхаро и др.). В углекислых водах отмечаются высокие концентрации As (до 15 мг/л), Fe (до 25 мг/л) и кремнекислоты (до 150 мг/л).

Углекислые воды флишевых отложений почти повсеместно имеют гидрокарбонатный натриевый состав, минерализацию 5—20 г/л (источники Уцера и Багиати). По южному склону Большого Кавказа вблизи Главного надвига и других глубинных разломов развиты борные воды с содержанием HNO_2 до 3000 мг/л (источники Пасанаури и Уцера). Концентрация углекислоты в подземных водах сланцевой толщи юры находится в пределах 0,5—2 г/л. Она повышается в направлении сводовой части Центрального Кавказа и достигает 3,3 г/л в районе Казбека. Блоковое строение Центрального

Кавказа с развитием узких грабен-синклиналей и горстов, разделенных притертыми зонами разломов и надвигов, определяет неглубокую циркуляцию подземных вод. По этой причине углекислые воды Центрального Кавказа и его обрамления преимущественно холодные (4—26 °С). Термальные углекислые воды с температурой 53 °С развиты лишь в районе Казбека (Верхний Кармадон).

В пределах КМВ этот этаж включает следующие водоносные комплексы: титон-валанжинский, апт-альбский, верхнемеловой и палеогеновый. Титон-валанжинский комплекс в нижней части сложен пестроцветными песчаниками и глинами с прослоями гипса и ангидрита, в верхней части — известняками. Общая мощность его составляет от 100 до 500 м. Апт-альбский комплекс представлен песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями известняков. Общая мощность до 400 м. Верхнемеловой комплекс сложен известняками с прослоями мергелей и песчаников. Мощность его составляет от 250 до 500 м. Палеогеновый комплекс представлен эссентукской свитой (мергели и песчаники), свитой Горячего Ключа (аргиллиты и песчаники) и фораминиферовой свитой (мергели). Общая мощность этого горизонта достигает 300 м.

Ни один из выделенных водоносных комплексов не является строго изолированным. Все они находятся в области артезианского склона. В их дренировании основную роль играют долины рек, имеющие эрозионно-тектоническое происхождение, и отдельные лакколлиты. Титон-валанжинский комплекс повсеместно распространен в районе КМВ и содержит углекислые воды. Дебиты источников и скважин находятся в пределах от десятков до нескольких тысяч кубических метров в сутки (ист. Нарзан). В Кисловодске наибольшую ценность представляют углекислые воды титона и нижней части валанжина, так как в верхней части валанжина происходит их разбавление.

Наличие в водовмещающих породах пластов гипса и ангидрита играет важную роль в формировании химического состава углекислых вод. Холодные углекислые воды сульфатно-гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава с минерализацией до 6 г/л формируются на южном крыле артезианского склона (источники Кисловодск, Ольховка, Березовка, Подкумск). При погружении на северо-восток воды титон-валанжина приобретают более высокую минерализацию до 8—16 мг/л (города Эссентуки, Пятигорск). По составу они становятся хлоридно-гидрокарбонатными натриевыми. В зонах погружения температура вод до 69 °С.

Апт-альбский комплекс содержит углекислые воды в районах Эссентуков, Железноводска, Пятигорска и других городов. В эссентукской зоне развиты пресные углекислые воды гидрокарбонатно-сульфатного натриевого состава. С погружением горизонта в направлении на север, северо-восток минерализация вод возрастает до 3 г/л (пос. Канглы), а температура до 60 °С. В пятигорской зоне по скважинам вскрыты гидрокарбонатно-сульфатные натриевые воды с минерализацией до 4 г/л и температурой 30—38 °С. Дебиты скважин достигают нескольких сотен кубических метров в секунду.

Верхнемеловой водоносный горизонт характеризуется высокой водообильностью известняково-мергелистой толщи сеноман-турона. В зоне интенсивного водообмена воды слабо-минерализованные гидрокарбонатные кальциево-натриевые, а в зоне замедленного водообмена — хлоридные натриевые с минерализацией более 20 г/л, повышенными содержаниями иода (до 10 мг/л) и брома (до 100 мг/л). В этом горизонте наиболее ценными являются хлоридно-гидрокарбонатные (соляно-щелочные) углекислые воды.

Палеогеновый водоносный комплекс включает эссентукский, Горячего Ключа и фораминиферовый водоносные горизонты. Водоносность мергелей эссентукской свиты определяется их трещиноватостью. Дебиты скважин находятся в пределах от 2,5 до 1000 м³/сут. Химический состав вод пестрый, что обусловлено их смешением с водами нижних горизонтов. Углекислые минеральные воды эссентукского горизонта в районе Эссентуков имеют хлоридно-гидрокарбонатный натриевый состав с общей минерализацией 8—13 г/л. В районе Железноводска минерализация вод составляет 3—4 г/л. По составу они сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые. Температура вод до 50 °С. Содержание кремнекислоты до 80 мг/л. Минеральные воды этого горизонта используются для лечебных целей в городах Эссентуки (скв. 17, скв. 4 и др.), Железноводск (источники Славянский, им. Семашко и др.) и Пятигорск (скв. 20 и др.). Водоносный горизонт в песчаниках и аргиллитах свиты Горячего Ключа содержит углекислые воды в районах городов Железноводска, Пятигорска и на других участках КМВ.

Вода Смирновского источника № 1 (г. Железноводск) по составу сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-натриевая с минерализацией 3,4 г/л. Воды более сложного химического состава распространены в районе г. Пятигорска. Теплый и холодный нарзаны по химическому составу сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые с

минерализацией 5,2 г/л. Дебиты скважин составляют 0,01—0,1 л/с, достигая 1 и даже 10 л/с. Температура минеральных вод горизонта Горячего Ключа составляет 14—38 °С. Пятигорские нарзаны признаются дериватами углекисло-серо-водородных вод меловых водоносных горизонтов. Потеря сероводорода в них связана с наличием в породах свиты рассеянного железа. На крайнем северном участке КМВ в горизонте свиты Горячего Ключа установлены чисто серо-водородные воды. Главный Кумагорский источник каптирован скважиной глубиной 41 м. Минеральная вода по химическому составу хлоридно-гидрокарбонатная натриевая с минерализацией 2 г/л и содержанием H_2S до 65 мг/л. Температура воды составляет 33 °С, дебит скважины 3,5 л/с.

Углекислые минеральные воды фораминиферовой свиты широко используются для лечебных целей в районе г. Железноводска. По химическому составу они сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые с минерализацией 3,2—3,4 г/л (источники Гаазовский, Нелюбинские, Незлобинский, скв. 18 и др.). Температура вод находится в пределах от 17 до 37 °С, дебиты скважин — 4—60 м³/сут. В водоносных горизонтах эссентукской, Горячего Ключа и фораминиферовой свит преимущественно развиты сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые воды с минерализацией 3—4 г/л. Последнее объясняется тесной гидравлической связью этих водоносных горизонтов с трещинными системами, являющимися каналами, по которым подтекают термальные воды, насыщенные углекислотой глубинного происхождения [26].

В олигоцен-четвертичном (орогенном) этаже наибольшее практическое значение имеют водоносные комплексы в изверженных породах неогена и четвертичных отложениях. Комплекс молодых изверженных пород имеет выход на поверхность в районах потухших вулканов Эльбрус, Казбек, Кабарджин и др. На КМВ трахилипариты, дациты, граносиениты и другие кристаллические породы обнажаются в ядрах эродированных лакколлитов (Бештау, Бык, Верблюды, Железная, Кинжал и т. д.) или перекрыты осадками мелового и палеогенового возраста (Машук, Юца, Джуца, Лысая и др.). В изверженных породах слабого и щелочного состава на ряде лакколлитов отмечены повышенные содержания радиоактивных элементов.

В водоносном комплексе молодых изверженных пород скважинами и горными выработками вскрыты трещинно-жильные и трещинно-грунтовые воды. Трещинно-грунтовые воды имеют малую минерализацию (до 1 г/л) и преимущественно гидрокарбонатный кальциевый состав. В связи с низ-

кими содержаниями радона ($Rn < 200$ Бк/л) они не представляют интереса для бальнеотерапии. Трещинно-жильные воды отличаются высокой радиоактивностью (Rn до 100 тыс. Бк/л). По химическому составу воды сульфатно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые. Температура их достигает 20°C и более. Дебиты скважин 0,1—2,5 л/с. На курорте Пятигорск 2 трещинно-жильные воды водоносного комплекса молодых изверженных пород с концентрацией радона до 8000 Бк/л используются для бальнеотерапии. Ресурсы радоновых вод Пятигорска 2 составляют 3,5 л/с.

Водоносный комплекс четвертичных отложений приурочен к элювиально-делювиальным осадкам и травертинам. На юго-западном склоне горы Горячей (г. Пятигорск) в этом комплексе были выявлены радоновые воды с концентрацией радона до 10 000 Бк/л. Их формирование связано с процессом сорбции радия травертинами и глинистым материалом элюво-делювия на участках разгрузки вод глубоких горизонтов. При этом содержания радия в юрском водоносном горизонте достигают $5 \cdot 10^{-10}$ г/л (скв. 33). Содержания радия в травертинах до $9 \cdot 10^{-9}\%$. Радоновые теплосерные воды (Пятигорск 1) по химическому составу гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые с минерализацией 2,2—3,5 г/л. Содержания радона в них составляют 370—1100 Бк/л, углекислоты — 0,2—0,3 г/л. Температура вод 18 — 22°C . Суммарный дебит источников 5000 м³/сут.

Кроме КМВ радоновые воды, приуроченные к водоносному горизонту элювиально-делювиальных отложений, известны в центральной и южной частях Большого Кавказа (источники Битюк-Тюбе, Кыртых, Эшкакон и др.). Они содержат радона до 3000 Бк/л и отличаются малым дебитом. В четвертичных отложениях на контакте с майкопскими глинами известны Баталинский и Лысогорский источники сульфатных и хлоридно-сульфатных магниево-натриевых (горьких) вод. Общая минерализация этих вод составляет 19—28 г/л. Дебиты источников и скважин не превышают 10 м³/сут.

Район минеральных вод Восточного Кавказа расположен в восточной части мегантиклинория Большого Кавказа, представляя собой ступенчатое погружение Большого Кавказа в сторону Каспийского моря. От района минеральных вод Центрального Кавказа на западе он отделяется крупной поперечной флексурой на меридиане горы Казбек, на севере граничит по глубинному разлому с «известняковым Дагестаном», на северо-востоке — с Кусарским предгорным прогибом, на юге — с Куринской межгорной впадиной.

Осевая или срединная часть района (ядро мегантиклинор-

рия) характеризуется наиболее резким проявлением инверсии геотектонического режима в конце раннеальпийской стадии. Краевая зона (юго-восточная флишевая часть района) продолжала развитие как прогиб до палеогена. Палеозойский фундамент в районе залегает значительно глубже, чем в пределах Центрального Кавказа. Район минеральных вод Восточного Кавказа отличается отсутствием проявления новейшего вулканизма. В пределах Большого Кавказа новейший вулканизм ограничен в юго-восточном направлении Казбекской зоной, которая отнесена нами к району минеральных вод Центрального Кавказа. Срединная зона Восточного Кавказа соответствует полосе развития нижнеюрских сланцевых толщ и состоит из Главного и Бокового высокогорных хребтов и разделяющего их Бежетино-Самурского продольного прогиба. Боковой хребет представляет собой непосредственное продолжение к востоку поднятия кристаллического ядра Центрального Кавказа. Он выступает над смежными зонами Восточного Кавказа на 1—1,5 км, представляя самостоятельную глыбовую структуру, ограниченную молодыми разломами.

Беженито-Самурский прогиб расположен в пределах района своими центральной и восточной частями. Западная, прослеживающаяся в Казбек-Цхинвальской зоне поперечного глубинного разлома, где находятся средне-верхнечетвертичный вулкан Кабарджин и цепь более мелких центров верхнечетвертичных извержений, отнесена нами к району минеральных вод Центрального Кавказа. Главный хребет, к которому приурочен водораздел Восточного Кавказа, представляет собой новейшее поднятие, унаследованное от антиклинория мезозойского комплекса. Южное крыло в тектоническом отношении принадлежит Чиаурскому флишевому синклинию и обрамляющему его с юга Дзау-Кახетинскому шовному антиклинорию. Юго-восточная часть района выражена несколькими узкими антиклинориями и синклиниями, сформированными в основном в результате предверхнеюрских, меловых, палеогеновых и миоценовых тектонических движений. Для нее характерно глыбовое строение.

Наиболее древние образования Главного геосинклинального комплекса в районе — нижнеюрско-ааленские глинистые и терригенно-глинистые отложения, измененные до аспидных сланцев. Обнажаются они в ядре мегантиклинория. Мощность их достигает 7—8,5 км. Они образуют сложные, интенсивно кливажированные изоклинальные складки. Среднеюрский структурный этаж представлен песчано-глинистыми и вулканогенными формациями мощностью до 2,5 км, в разрезе которых присутствуют углекислые отложения. Верхнеюрско-

палеоценовый структурный этаж сложен карбонатным и терригенно-карбонатным флишем, широко развитым в пределах южного склона Восточного Кавказа.

Орогенный комплекс представлен двумя структурными этажами: нижний олигоцен-средний сармат и верхний сармат-антропоген. Нижний этаж сложен глинистыми осадками мощностью до 1000 м, верхний — грубообломочным терригенным материалом мощностью до 1500 м. А. М. Овчинников выделил зону азотных гидрокарбонатных вод юрских сланцевых отложений Юго-Восточного Кавказа, являющихся на большей площади своего распространения термальными. Минеральные воды этого района изучены слабо. Преимущественное внимание было уделено лишь описанию их химизма на отдельных площадях.

Региональные закономерности для среднеюрских, меловых и кайнозойских комплексов — увеличение мощности глин в южном и юго-восточном направлениях и отсутствие в разрезе пространственно выдержанных коллекторов. Среднеюрский и меловой комплексы представлены карбонатной флишевой и глинистой фациями. Лишь на отдельных площадях в батбайосе и верхнем альбе прослеживаются слои песчаников. В пределах даже локальных структур наблюдается площадная неоднородность, выраженная в изменениях литофациального облика пород на незначительных расстояниях. Коллекторами в разрезе нижнеюрской сланцевой толщи являются зоны трещиноватости и разломов; в верхнеюрских и меловых отложениях — зоны трещиноватости карбонатных пород в пределах сводовых поднятий и в приразломных участках.

В районе выделяют следующие водоносные комплексы (см. табл. 8.2): юрских сланцевых отложений (нижнеюрский); среднеюрского и мелового терригенно-карбонатного и карбонатного флиша (среднеюрско-меловой) и кайнозойских терригенных грубообломочных отложений (кайнозойский орогенный).

Нижнеюрский водоносный комплекс имеет широкое площадное развитие в центральной и осевой частях района. Глинисто-сланцевые отложения отмыты от морского соляного комплекса. Для вод сланцевой толщи характерны низкая минерализация (0,6 г/л) и гидрокарбонатно-натриевый состав (содовые). В зонах разломов они являются термальными (источники Торгвасабано в с. Пшавели). Минеральные воды характеризуются щелочной реакцией ($\text{pH} = 8,3$), температура их до 38 °С. Содержание кремнекислоты составляет 45 мг/л. Состав газов азотный; подобный химический состав у источ-

ников Ели-су с дебитом 0,4 л/с и температурой 40 °С. Воды имеют щелочную реакцию среды ($pH=8$), общая минерализация 1,7 г/л, содержание кремнекислоты 35 мг/л.

Среднеюрско-меловой водоносный комплекс развит по южному и северному обрамлениям Главного Кавказа. Сложен он многокилометровой толщиной флишевых отложений. В этом комплексе наиболее ценны азотные слабокремнистые термы. Их формирование связано с циркуляцией вод по зонам глубинных разломов. Общая минерализация вод в районах сел Кемерован, Халтан и санатория Ахты 2,0 г/л, температура достигает 55 °С. По химическому составу они гидрокарбонатные натриевые с щелочной реакцией ($pH=7,3-8,5$). Содержание кремнекислоты до 50 мг/л. Дебиты источников невелики (0,4—1,0 л/с).

Кайнозойский орогенный комплекс представлен грубообломочными отложениями нижнего олигоцена-антропогена. В этих отложениях распространены преимущественно пресные (до 1 г/л) воды гидрокарбонатного натриевого и кальциево-натриевого составов. Воды представляют интерес для бальнеологии лишь на участках тектонически раздробленных пород нижних водоносных комплексов. Учитывая высокую водообильность грубообломочных отложений комплекса, обладающих хорошими коллекторскими свойствами, поиски термальных вод в них следует проводить в очагах разгрузки минеральных вод глубоких горизонтов.

Северо-Кавказский район минеральных вод занимает протяженную (более 700 км) территорию вдоль северного склона Большого Кавказа. На севере границы района проходят по зонам крупных тектонических разломов, отделяющих его от Западно-Кубанского и Восточно-Кубанского предгорных прогибов, далее от Кабардинской впадины, Терско-Дагестанского и Кусарского предгорных прогибов. На юге он граничит с районами минеральных вод Центрального и Восточного Кавказа. В структурном отношении район включает поднятие Северо-Западного Кавказа (Новороссийскую, Афинскую и Лазаревскую ступени), Лабино-Малкинскую моноклинал, зону северного крыла Восточного Кавказа («известняковый Дагестан»).

Минераловодский выступ, входящий в район минеральных вод Центрального Кавказа, разделяет Северо-Кавказский район на два участка — Северо-Западный и Северо-Восточный. Северо-Западный участок представляет собой антиклиналь с широкой сводовой частью и относительно крутыми крыльями, обращенными в западной части к Западно-Кубанскому прогибу и Черноморской впадине. Сочленение его с

указанным прогибом и впадиной осложнено продольными и поперечными разломами, активными в настоящее время [28]. Амплитуды новейшего воздымания в северо-западной части Большого Кавказа составляют 1—2 км при небольшой ширине захваченной им зоны (30—50 км).

Новороссийский блок на западе ограничен очень узкой зоной поперечного погружения с амплитудой более 1,5 км, по которой он отделяется от Керченско-Таманской структурной области. В пределах Афинской ступени поднятие Северо-Западного Кавказа расширяется до 50 км и в его ядре появляются юрские образования. Восточнее расположен более высокий Лазаревский блок, в осевой части которого появляются ниже-среднеюрские отложения (Гофхский антиклинорий). Рельеф в пределах Северо-Западного Кавказа изменяется с запада на восток от низкогорного до среднегорного, что связано со ступенчатым характером нарастания амплитуды новейшего воздымания. Расположенная восточнее Лабино-Малкинская моноклинали отделена от Лазаревского блока Пшехско-Адлерской флексурой, выраженной поперечными разломами. Лабино-Малкинская структура — северное крыло Центрального Кавказа, сложена полого (10—15°) моноклиналино наклоненными к северу породами мезозой-кайнозоя.

Восточная половина Лабино-Малкинской моноклинали представлена Малкинским поперечным поднятием, принадлежащим к числу древних поднятий Большого Кавказа, проявивших себя как в структуре герцинского фундамента, так и в тектонике альпийского чехла [26]. С этим поднятием связаны неотектонические структуры — Минераловодский выступ, средняя часть Тырнаузской шовной зоны и смежные участки поднятия Главного хребта (районы и центры новейшего вулканизма Эльбрусской области), относящиеся к району минеральных вод Центрального Кавказа. К району Центрального Кавказа отнесены те зоны дизъюнктивных нарушений, которые контролируют размещение вулканических центров и гипабиссальных интрузий: продольные разломы Тырнаузской зоны, Черкесский разлом, поперечный Эльбрусский разлом, тектонические нарушения Минераловодского выступа и Чегемская зона разломов.

Северо-восточный участок района минеральных вод Северного Кавказа в поперечном направлении разделяется на две складчатые ступени: северную — Буйнакскую, сложенную с поверхности палеогеновыми и миоценовыми отложениями (меловые, иногда верхнеюрские отложения вскрываются только в ядрах некоторых складок) и южную — «из-

вестнякового Дагестана», сложенную в основном отложениями мела и верхней юры (останцы палеогена и миоцена сохранились только в синклиналиях).

В пределах районов минеральных вод Северного Кавказа А. М. Овчинниковым выделено две зоны: азотных гидрокарбонатных вод меловых флишевых отложений Северо-Западного Кавказа и сероводородных сульфатных вод мезозойских известняков Северного Кавказа. Г. Н. Каменский, М. М. Толстихина, Н. И. Толстихин на Северном Кавказе выделили два водоносных комплекса: 1) верхнеюрских, меловых и эоценовых песчано-глинистых и глинисто-карбонатных, мергельно-глинистых флишевых отложений на северо-западе Большого Кавказа; 2) мощных верхнеюрских и меловых карбонатных и гипсоносных отложений северного склона Большого Кавказа.

Водоносные горизонты и комплексы Северного Кавказа образуют единый юрско-эоценовый водоносный этаж. В его составе выделяют юрский, меловой и палеогеновый водоносные комплексы (см. табл. 8.2).

По особенностям геологического строения, истории развития и условиям формирования минеральных вод Северо-Западный и Северо-Восточный участки имеют много общих черт.

Северо-Западный участок характеризуется широким развитием иодобромных, сероводородных, гидрокарбонатных и хлоридных натриевых вод. В его пределах в юрском, меловом и палеогеновом водоносных комплексах встречены термальные, а также кремнистые и купоросные воды. Иодобромные воды, вскрытые скв. 380 в известняках верхнего мела в районе г. Ходыженска, имеют минерализацию 13 г/л и хлоридный натриевый состав. Содержания биологически активных компонентов (в мг/л) составляют: иода — 46, брома — 37. На курорте Горячий Ключ скв. 102-7 в песчаниках палеоцена вскрыты термальные ($> 60^{\circ}\text{C}$) сероводородные ($\text{H}_2\text{S} = 118$ мг/л) воды. По химическому составу они гидрокарбонатно-хлоридные натриевые. Дебит скважины — 3,9 л/с. Высокая температура вод курорта обусловлена наличием зоны глубинного разлома, а формирование сероводорода происходит за счет окисления углеводов на относительно небольших глубинах, составляющих первые сотни метров.

Большую известность на этом участке получили крепкие сероводородные воды юрского и мелового водоносных комплексов Сочи-Адлерского бассейна. По скв. 1-Т Новая Мацеста в известняках верхней юры на глубине 1400—1500 м вскрыта высокоминерализованная сероводородная вода с температурой $36,5^{\circ}\text{C}$. По химическому составу она хлоридная натрие-

вая с минерализацией 26 г/л. Дебит скважины 40 л/с. Концентрации биологически активных компонентов (в мг/л) составляют: сероводорода — 421, брома — 60, иода — 6. В районе Мацесты установлен очаг разгрузки сероводородных вод, поступающих из водоносных комплексов юры и нижнего мела в верхнемеловой комплекс. Наряду с сероводородными водами в пределах Кудепсты разведаны теплые иодобромные хлоридные натриевые воды высокой минерализации (20—24 г/л), с содержанием йода 30 мг/л, брома 72 мг/л.

Примером купоросных вод может служить источник Кислый в станице Бесстрашной, который приурочен к пиритизированным сланцам палеоцена. Вода имеет сульфатный магниевно-натриево-кальциевый состав с минерализацией 2,1 г/л. Она содержит железо — 17 мг/л и кремнекислоту — 92 мг/л. Реакция среды кислая ($\text{pH}=3$). Купоросная вода формируется за счет окисления сульфидной минерализации в приповерхностной зоне. Наиболее перспективны для поисков йодобромных и сероводородных вод водоносные комплексы верхнемеловых и палеогеновых отложений, характеризующиеся промышленной нефтегазоносностью.

Северо-Восточный участок характеризуется развитием сероводородных сульфатных и хлоридных вод. Минеральные воды являются трещинными и трещинно-карстовыми. Максимальные концентрации сероводорода в минеральных водах отмечены в районе курорта Тамиск (230 мг/л). Вскрытая скв. 1 на глубине около 1 км вода имеет сульфатный магниево-кальциевый состав, температуру 17 °С. Дебит скважины 55,5 л/с. По скв. 2-р в районе г. Орджоникидзе в известняках нижнего мела на глубине 1,6—2 км вскрыта сероводородная вода с концентрацией H_2S до 1100 мг/л. Минерализация воды 27 мг/л. Она имеет хлоридный, натриевый состав и щелочную реакцию ($\text{pH}=7,4$).

На северной площади в верхнеюрско-меловом водоносном комплексе развиты минеральные воды высокой минерализации хлоридного натриевого состава с повышенным содержанием сероводорода, брома, иода и кремнекислоты. Так, в с. Датых по скв. 6 в известняках мела на глубине около 900 м вскрыта термальная хлоридная натриевая вода с минерализацией 50 мг/л. В ней установлены повышенные содержания кремнекислоты (до 70 мг/л) и брома (121 мг/л). Температура воды 77 °С. Дебит скважины составляет 46 л/с. В с. Чишки в этом же водоносном комплексе воды источников Чанты-Аргунских содержат сероводород (H_2S — 56 мг/л) и кремнекислоту (H_2SiO_3 — 94 мг/л). Наиболее крупным месторож-

дением сероводородных вод северной площади является Талги. Содержание сероводорода в водах достигает 700 мг/л. Общая минерализация 4,3—8,2 г/л. Сероводородные воды вскрыты здесь в известняках верхнего мела и палеоцен-эоцена. Температура вод находится в пределах от 36 до 39 °С. Дебиты скважин 6—13,5 л/с.

Олигоцен-миоценовый водоносный комплекс представляет интерес для поисков минеральных вод в локальных впадинах, где мощность песчано-глинистых осадков достигает нескольких сотен метров. В этом комплексе могут быть встречены сероводородные и иодобромные воды.

Район минеральных вод Закавказья представляет собой срединный массив, в пределах которого расположены межгорные Рионская и Куринская впадины, разделенные между собой Дзирульским выступом. Обширная межгорная депрессия испытала в позднеорогенную стадию значительное погружение. Рионская и Куринская впадины на западе и востоке переходят в еще более глубокие и обширные депрессии Черного моря и Южного Каспия. Заполнены они неоген-четвертичными молассаами. Дзирульский выступ в позднеорогенную стадию испытал воздымание. Наиболее приподнятый его участок приурочен к пересечению Транскавказского поперечного поднятия.

На северо-западе район граничит с поднятиями Северо-Западного Кавказа, на севере — Центрального Кавказа, на северо-востоке — Северо-Восточного Кавказа по зонам глубинных разломов и надвигов, на юге — с сооружениями Малого Кавказа: Аджаро-Триалетской, Симхетской, Зангезурской, Карадагской и Галышской зонами поднятий.

В пределах Рионской впадины на северо-западе выделяют Абхазо-Мегрельскую, а на юго-западе — Гурийскую краевые зоны. Осадочный комплекс этой впадины сложен отложениями от нижней юры до антропогена включительно мощностью до 9 км. Нижне- и среднеюрские отложения представлены терригенными, вулканогенными (порфириды и туфы) и терригенно-карбонатными образованиями мощностью 2—3 км; верхнеюрские — лагунными осадками. Неокомские отложения мощностью до 1000 м представлены известняками; аптские и альбские — глинистыми мергелями с прослоями мергелистых известняков, туфогенных песчаников и эффузивных покровов мощностью от 100 до 750 м. Выше по разрезу залегают песчаные свиты сеномана (до 200 м), карбонатная толща турон-сенона и датского яруса мощностью от 200 до 800 м. Палеоцен и эоцен сложены мергелями и известняками мощностью от 100 до 400 м. Нижние молассы олигоцена и

нижнего миоцена (майкопская серия) не имеют повсеместного распространения и представлены терригенными глинисто-песчанистыми породами мощностью до 2 км в Абхазо-Мегрельской зоне и до 4 км в Гурийской. Плиоцен-антропогеновые отложения мощностью до 2 км образуют верхние молассы. Они залегают несогласно на более древних образованиях и представлены песчано-глинистыми толщами с прослоями конгломератов.

Промышленная нефтегазоносность установлена в отложениях верхнего неогена Колхидской межгорной впадины, в отложениях нижнего неогена Гурийской депрессии и верхнего мела Чаладидской депрессии. Газопроявления из юрских отложений установлены в Западной Грузии.

Куринская межгорная впадина подразделяется на ряд зон погружения и поднятия. В западной ее части, примыкающей к Дзирульскому выступу, выделяют Карталинскую впадину, Алазанский предгорный и Среднекуруинский (Кираззский) межгорный прогибы, в южной части — нижнеараксинский межгорный прогиб. Впадины выполнены терригенно-карбонатными и вулканогенными отложениями юры, мела и палеогена и мощной толщей моласс миоцена и плиоцена. Выше, с угловым несогласием, в отдельных мульдах залегают верхнеплиоценовые и четвертичные континентальные осадки мощностью до 200—300 м. Мощность осадочного чехла составляет от 2—4 км на западе до 10—13 км в восточной части впадины. По сравнению с Рионской, Куринская впадина более обширная и сложнее построена. В направлении с запада на восток она резко расширяется (до 160 км) с увеличением амплитуды погружения.

История геологического развития Куринской и Рионской впадин имеет значительное сходство. В пределах Куринской межгорной впадины нефтепроявления установлены в терригенных отложениях лейаса, карбонатных комплексах: нижнего — неоком-аптского (местами и альбского) и верхнего — турон-сеноманского. Открыты нефтяные месторождения в отложениях нижнего плиоцена, верхнего сармата и чокракского яруса.

Дзирульский поперечный выступ представляет собой обширную пологую брахиантиклиналь (или свод). В палеогене — нижнем миоцене он был приподнят и маломощные майкопские осадки отлагались на его периферии. Вследствие дальнейшего воздымания покров нижнесарматских осадков был почти полностью размыт. Это поднятие во времени соответствует позднеорогенной стадии. В новейшей структуре Дзирульского выступа выделяется восточное пологое вало-

образное Суртамское поднятие. Амплитуда новейшего поднятия в его осевой части превышает 1 км. К северо-западу Сурамский вал сменяется пологим Чиатуро-Зестафонским прогибом, который погружается к юго-западу и сливается с Рионской впадиной. В центре прогиба в районе г. Чиатури в конце миоцена — начале плиоцена происходили небольшие извержения и субвулканические инъекции базальтовой магмы.

По характеру геологического строения, истории развития и особенностям гидрогеологических условий Закавказье представляет собой единый район минеральных вод с участками (или подрайонами) Рионской, Куринской впадин и Дзирульского массива.

В пределах этого района А. М. Овчинниковым выделена зона сероводородных хлоридно-натриевых вод известняковых массивов абхазских фаций. В гидрогеологическом строении района участвуют 5 основных водоносных комплексов: докембрийско-палеозойский; юрско-нижнемеловой; верхнемеловой-палеогеновый; олигоцен-миоценовый; плиоцен-антропогеновый (см. табл. 8.2).

Юрско-нижнемеловой комплекс приурочен к порфиритам юры и известнякам нижнего мела. В районе Лугела скважина глубиной 50 м вскрыла в туфах и порфиритах юры бромсодержащий рассол хлоридного кальциевого типа. Минерализация его составляет 55 г/л, содержание брома 165 мг/л. Термальные воды юрско-нижнемелового комплекса вскрыты неглубокими скважинами в районах курортов Ткварчели, Цаиши, Цхалтубо и др. В Ткварчели термальная (39,5 °С) сульфатная кальциево-натриевая вода с минерализацией 0,4 г/л вскрыта скв. 1-К в порфиритах J на глубине 40—300 м. Дебит скважины 10 л/с. В городах Цаиши и Цхалтубо термальные воды приурочены к закарстованным известнякам нижнего мела, отличающимся высокой водообильностью. Минеральная вода Цаиши имеет температуру 81 °С. Она вскрыта скв. 1 на глубине 700—820 м. Состав ее сульфатно-хлоридный кальциево-натриевый, минерализация 1,8 г/л, содержание кремнекислоты 40 мг/л, дебит скважины 22,5 л/с. В г. Цхалтубо суммарный дебит скважин составляет 170—210 л/с. Химический состав воды (ист. 6):

$$\text{Rn 111 Бк/л, } M_{0,8} \frac{\text{SO}_4 40 \text{HCO}_3 33 \text{Cl} 27}{\text{Ca} 55 \text{Mg} 25 \text{Na} 20} T 34,8.$$

Высокий дебит термальной воды Цхалтубо позволяет использовать для физиотерапевтического воздействия не только радон, но и короткоживущие элементы распада. Скрытая разгрузка термальных очень слаборадоновых вод

происходит в аллювии долины р. Цхалтубо. Верхнемеловой-палеогеновый водоносный комплекс, сложенный известняками, содержит сероводородные хлоридные натриевые воды с минерализацией до 15 г/л. Месторождения сероводородных вод Менджи, Сухуми и другие приурочены к брахиантиклинальным поднятиям. Вода месторождения Менджи имеет хлоридный натриевый состав с минерализацией 14 г/л, содержание сероводорода до 65 мг/л, дебит скважины 6 л/с. В северной части Рионской впадины практическое значение имеют только минеральные воды, приуроченные к верхним водоносным комплексам, так как юрско-нижнемеловой комплекс погружен на глубину 5—7 км. В верхнемеловом-палеогеновом и олигоцен-миоценовом водоносных комплексах развиты хлоридные натриевые и кальциево-натриевые воды с минерализацией до 20 г/л. На нефтяном месторождении Сунса в олигоцен-миоценовом комплексе установлены хлоридные натриевые воды с содержанием сероводорода 102 мг/л. Плиоцен-антропогеновый водоносный комплекс содержит преимущественно пресные воды. Для поисков минеральных вод он представляет интерес лишь в пределах очагов разгрузки вод глубокой циркуляции (Цхалтубо и др.).

Куринский бассейн характеризуется нормальной гидрохимической зональностью за исключением некоторых антиклинальных структур, где наблюдаются отклонения от общей закономерности увеличения минеральных вод с глубиной.

Основные водоносные комплексы участка — верхнемеловой-палеогеновый, олигоцен-миоценовый и плиоцен-антропогеновый.

В верхнемеловом-палеогеновом водоносном комплексе, приуроченном к карбонатным и песчано-глинистым осадкам, развиты высокоминерализованные воды и рассолы хлоридного натриевого и кальциево-натриевого составов, содержащие высокие концентрации иода и брома (источники Далляр, Хильми и др.). В пределах отдельных куполовидных структур, сложенных битуминозными известняками верхнего мела, встречены сероводородные воды (ист. Диаллы). На площади Хильми (скв. 9) в известняках и мергелях верхнего мела на глубине 200 м вскрыты хлоридные натриевые воды с минерализацией 11 г/л, содержащие иод (27 мг/л) и бром (40 мг/л). Диаллинский источник сероводородных ($H_2S = 160$ мг/л) хлоридных натриевых вод с минерализацией 14 мг/л имеет дебит 0,06 л/с. Минеральные воды водоносного комплекса верхнемеловых-палеогеновых отложений приобрели наибольшее практическое значение в западной части участка, где глубина их залегания не превышает 1—2 км.

Олигоцен-миоценовый водоносный комплекс приурочен к песчано-глинистым отложениям майкопской свиты и сарматского яруса общей мощностью до 2 км и более. На курорте Нафталан (скв. 76) в песчано-глинистой толще P_3-N_1 на глубине 570 м вскрыта термальная иодобромная гидрокарбонатно-хлоридная натриевая вода с минерализацией 10 г/л. Минеральная вода содержит биологически активные элементы: йод — 10 мг/л, бром — 38 мг/л. Температура воды 35,5 °С. Суммарный дебит пробуренных здесь скважин составляет 100 л/с. Иодобромные воды этого водоносного комплекса известны и на других нефтегазоносных площадях (Тарибана, Чобандаг и т. д.).

Плиоцен-антропогеновый водоносный комплекс участка наиболее богат сероводородными и иодобромными водами. Это обусловлено нефтегазоносностью участка и благоприятными геологоструктурными, фациально-литологическими, гидрогеохимическими условиями формирования минеральных вод. При нефтепоисковом бурении на площадях Сураханы, Шихово, Нефтечала, Хыдырды и других вскрыты сероводородные или иодобромные гидрокарбонатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды. Минерализация вод достигает 200 г/л, причем она уменьшается с глубиной. В гидрохимическом разрезе в водоносном комплексе выделяют верхнюю часть с распространением рассолов с минерализацией 80—200 г/л и нижнюю — с минерализацией 10—70 г/л. В нижней части комплекса воды гидрокарбонатно-хлоридные натриевые, обогащенные иодом до 40 мг/л и бромом до 500 мг/л (месторождение Нефтечала). В верхней части комплекса воды имеют хлоридный натриевый состав. Сероводородные воды с минерализацией 10—35 мг/л на площадях Сураханы, Шихово и других содержат до 200—400 мг/л сероводорода и кремнекислоту (H_2SiO_3 до 100 мг/л). Дебиты скважин от 0,09 до 3 л/с и более. Температура сероводородных вод от 18 (Сураханы) до 70 °С (месторождение Шихово, скв. 1334, глубина 2300 м).

Куринский участок минеральных вод отличается от Рионского широким развитием процессов континентального засоления. За счет испарительной концентрации солей, грунтовые воды этого участка на отдельных площадях имеют высокую минерализацию (до 50 г/л). По химическому составу они хлоридные или сульфатно-хлоридные натриевые и магниевые. Наиболее высокая минерализация грунтовых вод установлена на северо-восточной и центральной площадях Кура-Араксинской низменности. Они могут представлять определенный интерес для бальнеологии.

Район минеральных вод Малого Кавказа представляет собой сводово-глыбовое поднятие альпийского складчатого сооружения — мегантиклинория Малого Кавказа. С северо-востока он ограничивается Куринским межгорным прогибом; на севере к нему примыкает Дзирульский выступ Закавказского района, а на северо-западе граничит с Рионским межгорным прогибом. На юго-западе района расположены Среднеараксинский, а на юго-востоке — Нижнеараксинский межгорные прогибы, отделяющие его от Понта и Турецкой Армении, и разделяющие поднятия Талыша и Карадага. В районе выделены: Аджаро-Триалетская зона поднятий; Сомхетская и Муравдаг-Карабахская зоны поднятий северо-восточного крыла Малого Кавказа; Севанская зона впадин и поднятий; Ахалкалакская и Центрально-Армянская вулканические зоны; Арпа-Воротанская зона впадин и поднятий; Урц-Зангезурская зона поднятий; Среднеараксинский межгорный прогиб. По схеме тектонического расчленения Кавказа Севанская, Центрально-Армянская, Арпа-Воротанская и Урц-Зангезурская зоны представляют собой составные части Армянской складчатой зоны [26].

Аджаро-Триалетская зона в западном направлении погружается в Черное море, а к востоку — под молассы Куринской межгорной впадины. Геосинклинальный комплекс этой зоны поднятий сложен альб-туронскими андезитами, известняками верхнего сенона (до 1 км) и мощной (до 9 км) толщей андезито-базальтов эоценового возраста. Линейные складки осложнены разрывными нарушениями, в западной части прорваны мелкими позднеэоценовыми интрузивными массивами гранитоидов. Самхето-Карабахская (Самхетская и Муравдаг-Карабахская) зона поднятий характеризуется выходом в отдельных местах на поверхность метаморфического фундамента (нижний кембрий).

Геосинклинальный комплекс представлен: 1) толщей андезито-базальтов байоса и бата (до 3,5 км), залегающей на нижнеюрских конгломератах и алевролитах (до 500 м); 2) вулканогенно-карбонатными породами верхней юры (до 1 км); 3) нижнемеловыми карбонатными, лагунными отложениями в юго-восточной и вулканическими в ее центральной части. Армянская складчатая зона, включающая целый ряд впадин, поднятий и центров молодого вулканизма, отличается наиболее сложным геологическим строением. Севанская зона впадин и поднятий характеризуется широким развитием офиолитовой ассоциации мезозойского возраста. Разрез ее представлен серпентинизированными гипербазитами, габбро, диабазами, породами вулканогенно-кремнистой серии, а так-

же разнообразными метаморфическими породами и известняками позднеюрского — мелового возраста (до 700 м). Выше залегают флиш и андезиты эоценового возраста (до 3 км), дислоцированные в позднем эоцене.

Севанская орогенная впадина сложена красноцветными (олигоцен-нижний миоцен) соленосными отложениями, глинами и известняками (средний и верхний миоцен). Ахалкалакская и Центрально-Армянская вулканические зоны представляют собой обширные плато, сложенные эффузивными образованиями. Вулканиты выполняют также и геосинклинальные прогибы. Мощность андезито-базальтов, дацитов и пирокластов, образовавшихся в миоцен-плиоцене, достигает 2,5 км и более.

Вулканиты четвертичного возраста имеют локальное развитие в периферийных частях вулкана Арагац и представлены андезито-базальтами.

Арпа-Воротанская зона впадин и поднятий с юго-востока примыкает к Центрально-Армянской вулканической зоне. Характер офиолитового комплекса Арпа-Воротанской и Севанской зон очень близок. Урц-Зангезурское поднятие характеризуется неглубоким залеганием байкальского фундамента, перекрытого сенон-эоценовым осадочным чехлом и мощным покровом вулканических пород кайнозойского возраста. В Среднеараксинском прогибе осадочные толщи орогенного комплекса имеют широкое развитие (Арагатская и Нахичеванская впадины). Представлены они грубообломочными терригенными (олигоцен и нижний миоцен) отложениями мощностью до 2 км, соленосными и гипсоносными (средний миоцен) отложениями мощностью до 1,2 км, песчано-глинистыми и мергельными отложениями с вулканическими туфами и пеплами (верхний миоцен и нижний плиоцен) мощностью до 600 м.

По особенностям формирования минеральных вод в пределах Малого Кавказа выделяют следующие участки: Аджаро-Триалетский, Сомхето-Карабахский, Армянский, Среднеараксинский и Талышский. Минеральные воды развиты в палеозойском, юрско-эоценовом и олигоцен-плиоценовом водоносных комплексах (см. табл. 8.2).

Комплекс основания обнажается на поверхности или вскрыт неглубокими скважинами в пределах срединных массивов на поднятиях Малого Кавказа. Он сложен метаморфическими породами, известняками, доломитами и песчаниками, прорванными герцинскими гранитами. В верхах разреза залегают красноцветы пермо-триаса, представленные свитой медистых песчаников. На ряде участков граниты и

медистые песчаники обогащены радиоактивной минерализацией.

Минеральные воды комплекса основания — трещинно-жилвные и реже трещинно-пластовые или трещинно-карстовые. По степени минерализации воды пресные и слабоминерализованные. Химический состав их гидрокарбонатный кальциевый. Дебиты источников обычно невелики (0,01—0,5 л/с). Исключение составляют источники, приуроченные к известнякам палеозоя. Дебит источников у станицы Арарат достигает 250 л/с. Аренийские источники имеют дебит 70 л/с.

Малый Кавказ — район преимущественного развития углекислых и азотных термальных вод. Поэтому в комплексе основания широко известны углекислые источники хлоридно-гидрокарбонатного или гидрокарбонатно-хлоридного типов (Анкаван, Арзакан, Бжни и др.). В углекислых водах в повышенных содержаниях установлены биологически активные компоненты, мг/л: H_2SiO_3 — 110—150; HBO_2 — 50—100; Li — 8; As — 0,2—0,8. Температура углекислых термальных источников Анкаван, приуроченных к глубинному Мисхапо-Зап-гезурскому разлому, достигает 45 °С. Эксплуатационные запасы минеральной воды Анкаван составляют 3853 м³/сут.

Наряду с углекислыми водами в комплексе основания на локальных участках могут быть установлены радоновые воды. Наиболее перспективны для их поисков участки развития медистых песчаников и гранитоидов палеозоя.

Геосинклиальный водоносный комплекс богат минеральными водами. Проявление минеральных вод известны во всех впадинах Малого Кавказа, выполненных вулканогенно-осадочными и флишевыми толщами, и на ряде поднятий. Мощность водоносного комплекса достигает 10 км. Состав пород комплекса достаточно пестрый (конгломераты, алевриты, известняки, мергели, андезито-базальты, туфы, гранитоиды). Межгорные впадины представляют собой малые артезианские бассейны. Наиболее полный разрез пород геосинклиального комплекса установлен в Памбакском, Иджеванском, Севанском, Арпинском, Ереванском и Приараксинском артезианских бассейнах.

В восточной части Аджаро-Триалетской складчатой зоны выделяется Тбилисский артезианский бассейн. В районе г. Тбилиси по зонам разломов в туфогенных породах эоцена разгружаются термальные (47 °С) хлоридно-гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией 0,3 г/л. Скважиной 5 на глубине 890—1300 м вскрыты термальные воды хлоридного кальциево-натриевого состава с минерализацией 4,4 г/л. Дебит старых тбилисских терм составляет 21 л/с. Углекислые

воды, приуроченные к флишевым отложениям, представлены месторождением Боржоми. По составу они гидрокарбонатные натриевые холодные и теплые с минерализацией 6,1—7,2 г/л и содержанием фтора до 8 мг/л. В пределах Аджаро-Триалетской зоны углекислые воды установлены также на участках Саирме, Набеглави, Ахалцихе, Вардзия и др.

Значительная часть известных источников углекислых вод Малого Кавказа, приуроченных к геосинклиальному комплексу, имеет гидрокарбонатный кальциево-магниевый и кальциево-магниевый натриевый состав с минерализацией до 2 г/л [28]. Среди гидрокарбонатно-хлоридных и хлоридно-гидрокарбонатных вод с минерализацией 2—20 г/л выделяют два основных бальнеологических типа: эссентукский (Багырсах, Бадамлы, Вайхыр, Зваре, Минкенд, Накалакеви и др.) и арзнинский (Архел, Дараяурт, Нагаджир и др.).

Гидрохимическая зональность минеральных вод Малого Кавказа тесно связана с гидродинамической зональностью. Геосинклиальный водоносный комплекс и развитые в нем углекислые воды находятся преимущественно в пределах зоны замедленной циркуляции и нижней зоны относительно застойных вод. На отдельных участках (Авадхари, Вардзия, Накалакеви и др.) углекислые воды содержат повышенные концентрации мышьяка (до 3 мг/л), бора HBO_2 (70—120 мг/л) и кремнекислоты (до 100 мг/л).

Орогенный водоносный комплекс приурочен к вулканогенным образованиям и грубообломочным терригенным отложениям олигоцен-четвертичного возраста. В Ереванской, Севанской и других впадинах развиты соленосные и гипсоносные осадки среднего миоцена. Площадь развития эффузивов (андезито-базальты, дациты, туфы) значительно превышает площадь распространения осадочных пород, которые накапливались во впадинах и прогибах. На высокогорных плато среди андезито-базальтовых лав отмечается региональное распространение вод исключительно малой минерализации. Сильная трещиноватость пород способствует интенсивному поглощению ими атмосферных и поверхностных вод и образованию мощных источников подземных вод с дебитом в сотни и тысячи литров в секунду. Во впадинах также сосредоточены крупные ресурсы артезианских и грунтовых вод. В соленосных толщах этих впадин находятся высокоминерализованные воды и рассолы хлоридного натриевого состава.

В Ереванском и других бассейнах с соленосными фациями встречаются углекислые высокоминерализованные (до 100 г/л) хлоридные натриевые воды и рассолы (источники Раздан, Кара-Кала, Птгни и др.). Этот тип вод характери-

зуется повышенными концентрациями бора — до 500—2500 мг/л и мышьяка — до 1—15 мг/л (источники Дараяурт, Двин, Горбатех и др.). В Ленинанканском и Ереванском артезианских бассейнах в углекислых водах установлены повышенные содержания сероводорода — до 120 мг/л и метана — до 25%. Происхождение углекислых вод орогенного и более древних водоносных комплексов связано с верхнеплиоценовым постплиоценовым вулканизмом.

В пределах Малого Кавказа выделяют западную и восточную вулканические зоны. К западной зоне относятся Джавахетская (Кечугская) и Арагацкая вулканоструктурные подзоны, а к восточной — Гегамская, Айоцзор-Варденисская и Сюникская подзоны. Вулканическое нагорье характеризуется развитием маломинерализованных хлоридных и горячих углекислых вод зоны интенсивного и реже замедленного водообмена. На площади развития андезито-базальтов Айоцзор-Варденисской подзоны находится месторождение минеральных вод Джермук. Углекислые воды Джермука имеют сульфатно-гидрокарбонатный натриевый состав с минерализацией 4—5,5 г/л. Температура вод составляет 55—61 °С. Минеральная вода содержит в повышенных количествах мышьяк (0,7—1,5 мг/л) и кремнекислоту (80—100 мг/л).

На участках развития сульфидной минерализации углекислые воды, приуроченные к вулканогенным и осадочным толщам орогенного комплекса, часто обогащены железом, мышьяком, медью и другими микроэлементами (источники Сарцали, Арзни, Архгел и др.). Наибольшие содержания железа (20—125 мг/л) установлены в источниках на севере Центрально-Армянской зоны в районах сел Памбак и Бзовдаль. С гранодиоритами, трахидацитами и травертинами орогенного комплекса, обогащенными радиоактивными элементами, связано формирование радоновых вод месторождения Багырсах в районе Истису. В пределах этого месторождения углекислые хлоридно-гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией 5—6,6 г/л содержат радон (5000—150 000 Бк/л) и радий (до $1,1 \cdot 10^{-10}$ г/л). Температура радоновых вод 18—24 °С. Содержания радона в термальных (72 °С) водах участка месторождения невелики. Следовательно, формирование радоновых вод месторождения Багырсах происходит за счет эманирования радия в приповерхностной трещиноватой зоне изверженных пород и травертинов. В минеральной воде Багырсах определены повышенные количества кремнекислоты (до 82 мг/л), бора HBO_2 (до 100 мг/л) и мышьяка (до 1 мг/л). Основные предста-

вители минеральных вод Малого Кавказа приведены в табл. 8.2.

В пределах Малого Кавказа развиты различные типы углекислых вод — от пресных гидрокарбонатных кальциевых, магниевых или натриевых до хлоридных натриевых и рассолов. В потоках и покровах лав орогенного комплекса преобладают углекислые воды гидрокарбонатного состава и малой минерализации (< 2 г/л, источники Гукасян, Амасия, Арарат и др.). В флишевых и карбонатных отложениях геосинклинального комплекса минерализация углекислых вод возрастает до 12 г/л. По составу преобладают гидрокарбонатные натриевые воды (Боржоми, Ахалцихе, Вардзия, Двин). В метаморфических и изверженных породах палеозоя и докембрия формируются углекислые воды сложного химического состава: хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные, сульфатно-гидрокарбонатные с минерализацией до 10 г/л (Анкаван, Арзакан, Бжни, Лор, Шванидзор и др.).

В соленосных осадках миоцена углекислые воды имеют гидрокарбонатно-хлоридный, хлоридный натриевый и магниво-натриевый состав с минерализацией до 100 г/л (источники Птгни, Раздан, Кара-Кала и др.). Выполненное обобщение гидрогеологических материалов по минеральным водам Крыма и Кавказа показывает, что Крымско-Кавказская область охватывает районы широкого распространения углекислых, сероводородных, борных, хлоридных иодобромных вод, рассолов и кремнистых терм (см. табл. 8.2.).

Углекислые воды различного состава и минерализации развиты на Центральном и Малом Кавказе. Эти районы характеризуются проявлением неоген-плиоценового вулканизма. Выходы термальных углекислых вод приурочены в основном к зонам глубинных разломов. Углекислые воды Малого Кавказа часто содержат в повышенных концентрациях Fe, As, В, F и другие элементы. Среди трещинно-пластовых и порово-пластовых вод преобладают холодные. В межгорных впадинах Малого Кавказа (Ленинаканской, Севанской, Ереванской и других) и в Среднеараксинском прогибе, где развиты соленосные отложения, углекислые воды имеют высокую минерализацию и хлоридный состав. Повышенные концентрации Fe, As, Cu, Zn, F в углекислых водах обусловлены широким развитием в этих районах полиметаллических руд.

Сероводородные воды распространены в Горном Крыму, на Северном Кавказе, в Закавказье (Рионская и Куринская впадины) и на Малом Кавказе (Ленинаканская впа-

дина). Эти районы характеризуются наличием углеводородов в соленосных, флишоидных и карбонатных битуминозных толщах. Химический состав сероводородных вод различный, с преобладанием хлоридов натрия, их минерализация составляет 3—50 г/л и более.

Борные углекислые воды наиболее широко развиты в районах Горного Крыма, Центрального и Малого Кавказа. В Горном Крыму они приурочены к зонам разломов глубокого залегания, а на Кавказе — к соленосным молассам межгорных впадин и прогибов. Максимальные концентрации бора (до 2500 мг/л) в углекислых водах Центрального и Малого Кавказа связаны с обогащенностью горных пород геосинклинального и орогенного комплекса бором в результате проявления в Южном бороносном поясе интенсивных неоген-плиоценовых поствулканических процессов.

Йодобромные воды развиты в Горном Крыму, на Северном Кавказе, в Закавказье и отдельных впадинах и прогибах Малого Кавказа. Они формируются в отложениях геосинклинального и орогенного комплексов, обогащенных органическим веществом, имеют повышенную минерализацию и хлоридный состав.

Кремнистые термы распространены в пределах всего Восточного Кавказа, на отдельных участках Малого Кавказа (Аджаро-Триалетский, Талышский) и приурочены к зонам разломов глубокого заложения.

Радоновые воды имеют ограниченное распространение на отдельных локальных участках. Формирование радоновых вод происходит на участках выступов древних кристаллических, метаморфических и осадочных пестроцветных пород, обогащенных радиоактивной минерализацией (Дзирульский и др.); в пределах молодых лакколлитов, сложенных гранит-порфирами, грано-сиенитами, липаритами и дацитами, обогащенными радиоактивными элементами (г. Пятигорск), и на участках развития травертинов, обогащенных радием и представляющих собой эманулирующие коллектора (Пятигорск I, Багырсах и др.).

Копетдагская область минеральных вод. Главные геологоструктурные элементы области — мегантиклинорий Копетдага, мегантиклиналь Большого Балхана, поднятие Кубадага и Западно-Туркменская впадина [26]. Севернее складчатого сооружения Копетдага расположен Предкопетдагский краевой прогиб, а на юге — Туркмено-Харасанский мегантиклинорий.

Комплекс основания Копетдагской области представлен гранитами, диоритами и эффузивными породами палеозоя.

Геосинклинальный комплекс образован юрскими и мел-палеогеновыми терригенно-карбонатными отложениями. В его нижней части находится угленосная терригенно-глинистая толща нижней и средней юры мощностью более 4 км. Эта толща обнажается на Большом Балхане. Выше залегает толща терригенно-карбонатных пород верхней юры, выходящая на поверхность в районах Кубадага, Большого Балхана и местами Копетдага. Мощность толщи до 7 км.

В разрезе пород мел-палеогена выделяют: карбонатную толщу валанжина-нижнего баррема мощностью 0,4—0,6 км; глинисто-терригенную и терригенно-карбонатную толщу верхнего баррема-сеномана общей мощностью 0,6—2,5 км; глинисто-карбонатную толщу турана-маастрихта мощностью 0,15—0,9 км и глинистую толщу палеоцена-нижнего олигоцена мощностью 0,46—2,4 км. Орогенный комплекс представлен верхнеолигоценовыми, неогеновыми и четвертичными континентальными и морскими молассовыми отложениями мощностью до 8 км. В орогенном комплексе различают верхнеолигоцен-миоценовый и плиоцен-четвертичный структурные горизонты. Породы этого комплекса имеют широкое развитие в Западно-Туркменской впадине и на склонах главных поднятий.

Верхнеолигоцен-миоценовый горизонт сложен песчано-глинистыми осадками майкопской серии мощностью до 3 км. Плиоцен-четвертичный горизонт представлен конгломератами, галечниками, песчаниками, суглинками, гипсами и глинами общей мощностью до 5 км. В геосинклинальном и орогенном комплексах выявлены месторождения нефти, газа, каменной соли, гипса и рудопроявления свинца, цинка, меди, мышьяка, бора и других металлов.

Копетдагская область характеризуется широким распространением сероводородных, иодобромных, борных, сульфатных, хлоридных вод и кремнистых терм. В ее пределах расположен Западно-Копетдагский, Центральное-Копетдагский и Западно-Туркменский районы минеральных вод. Минеральные воды Западно-Копетдагского района развиты в геосинклинальном и орогенном комплексах, воды Центрально-Копетдагского района — в геосинклинальном комплексе, а Западно-Туркменского района — в орогенном водоносном комплексе.

Сероводородные воды развиты почти на всей территории области, что связано с ее региональной нефтегазоносностью и широким распространением соленосных отложений геосинклинального и орогенного комплексов.

Иодобромные воды также широко распространены. Вы-

сокие концентрации иода (до 470 мг/л) формируются в пределах зон глубинных разломов с аномально-высокими температурами за счет возгонки из органического вещества пород.

Формирование борных вод связано с вхождением области в Южный бороносный пояс. Для термальных вод характерны повышенные содержания свинца, цинка, мышьяка, фтора, кремнекислоты и других элементов, что обусловлено проявленностью альпийского рудогенеза.

Западно-Копетдагский район минеральных вод включает структуры Западного Копетдага, Большого и Малого Балхана и Кубадага. Геологический разрез этого района наиболее полный. Здесь присутствуют породы складчатого основания, геосинклинального и орогенного комплексов. Условия питания подземных вод в кристаллических породах основания неблагоприятные, поэтому он практически лишен минеральных вод. В геосинклинальном комплексе наиболее водобильны известняки и доломиты карбонатной толщи валанжина-нижнего баррема, а также песчаники и известняки терригенно-карбонатной толщи верхнего баррема — сеномана (табл. 8.3). В них вскрываются скважинами и имеют выход в виде источников сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые или кальциево-натриевые воды с минерализацией 2—12 г/л. На глубинах 0,2—3 км минерализация вод увеличивается до 50—100 г/л. В минеральных водах часто содержатся в повышенных количествах биологически активные компоненты: фтор — 32 мг/л (ист. Сокули); сероводород — 132 мг/л (ист. Суйджикун); иод — 190 мг/л; бром — 45 мг/л; бор — 304 мг/л (ист. Шор). Максимальные содержания иода в водах района достигают 470 мг/л.

В орогенном водоносном комплексе в приповерхностной зоне развиты сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые воды высокой минерализации (2—40 г/л). В этих водах в повышенных количествах (до 110 мг/л) установлен сероводород (источники Ханга и Каскыр-Булак, скв. Небит-Даг). На глубинах 0,5—2 км (скв. 8 Небит-Даг, скв. 9 Кума-Даг) в орогенных комплексах вскрыты рассолы хлоридного натриевого состава с минерализацией 50—150 г/л. В рассолах содержатся высокие количества бора (до 2029 мг/л), иода (до 100 мг/л), брома (до 500 мг/л и более). Температура рассолов достигает 45 °С (см. табл. 8.3).

Центрально-Копетдагский район минеральных вод приурочен к мегантиклинорию Копетдага. В геологическом строении его принимают участие породы геосинклинального комплекса. Основные водоносные комплексы — валанжин-

нижнебарремский и верхнебаррем-сеноманский, сложенные песчаниками, известняками и доломитами. На отдельных участках (Гяурс-Даг, Берзенги и др.) минеральные воды вскрыты скважинами в известняках верхней юры. По химическому составу они сульфатные кальциево-натриевые, хлоридно-сульфатные кальциево-натриевые и хлоридные натриевые. Минерализация сульфатных и сульфатно-хлоридных вод составляет 2—10 г/л. В этих водах в повышенных количествах содержится сероводород (скв. 34 Гяурс-Даг, 50—170 мг/л; ист. Серный, 62 мг/л). На курорте Арчман в лечебных целях используется термальная (36,7 °С) сероводородная (25 мг/л) вода хлоридно-сульфатного кальциево-натриевого состава с минерализацией 2,2 г/л. Минеральные воды хлоридного натриевого состава с минерализацией 8—20 г/л часто обогащены йодом (42 мг/л), бромом (28 мг/л), бором (46 мг/л), кремнекислотой (53 мг/л) и сероводородом (37 мг/л) (скв. 88 Аджикули, скв. 23 Терс-Акан). В Центрально-Копетдагском районе развиты преимущественно сероводородные, иодные воды и кремнистые термы.

Западно-Туркменский район приурочен к Закаспийской орогенной впадине, выполненной мощной толщей верхнеолигоцен-миоценовых и неоген-четвертичных отложений. Из-за больших глубин залегания минеральные воды в отложениях олигоцен-миоцена практического значения не имеют.

Основной водоносный комплекс — неоген-четвертичный, представленный галечниками, конгломератами, песчаниками, глинами и гипсами. Минеральные воды имеют хлоридный натриевый и кальциево-натриевый состав с минерализацией 3—300 г/л. Воды и рассолы (ист. 54, 55, Челекен, скв. Котур-Тепе, ист. Северный, Южный и др.) часто обогащены йодом (до 65 мг/л), бромом (до 800 мг/л), бором HBO_2 (до 1000 мг/л) и сероводородом (до 1500 мг/л). Температура их достигает 37—92 °С и более. В термальных рассолах оз. Челекен кроме иода, брома, бора, сероводорода, в повышенных количествах содержатся, мг/л: свинец (до 30), цинк (до 8) и мышьяк (до 1). Аномальные содержания этих металлов приурочены к рассолам в красноцветной песчано-глинистой толще неогена, осложненной системой глубинных разломов. В восточной краевой части района отдельными скважинами вскрыты минеральные воды геосинклинального комплекса. Они имеют хлоридный натриевый состав с минерализацией до 200 г/л и содержат йод (65 мг/л), бром (50 мг/л), бор (125 мг/л).

Южнопамирская область минеральных вод. Памир — складчато-глыбовое поднятие, включающее Севернопамир-

Т а б л и ц а 9.3

Копетдагская область сероводородных, йодобромных, борных, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Район минеральных вод	Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика
I. Западно-Копетдагский	Сероводородные, йодные, борные, фторсодержащие, сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые	1. Геосинклиальный; валанжин-нижнебарремские и верхнебаррем-сеноманские отложения: известняки, доломиты, песчаники, глинистые сланцы
	Сероводородные, йодобромные, борные, сульфатно-хлоридные и хлоридные натриевые	2. Орогенный; верхнеолигоцен-миоценовые и плиоцен-четвертичные отложения: конгломераты, галечники, песчаники, гипсы, глины
II. Центральнo-Копетдагский	Сероводородные йодные, кремнистые, сульфатные, сульфатно-хлоридные натриевые	1. Геосинклиальный; валанжин-нижнебарремские и верхнебаррем-сеноманские отложения: песчаники, известняки, доломиты, глинистые сланцы
III. Западно-Туркменский	Йодобромные, сероводородные, борные, хлоридные натриевые	1. Орогенный; верхнеолигоцен-миоценовые и неоген-четвертичные отложения: галечники, конгломераты, песчаники, гипсы, глины

скую и Южнопамирскую складчатые системы. По геологическому строению и истории развития Северный Памир имеет сходство со структурами Тянь-Шаня и относится к Урало-Монгольскому складчатому поясу. В пределах Южнопамирской складчатой системы, которая относится к Средиземноморскому поясу, выделяют следующие основные структурно-

сульфатных, хлоридных вод и кремнистых терм (по Г. В. Куликову,

Физико-химическая характеристика минеральных вод				Основные месторождения, источники и скважины минеральных вод
Основной химический состав; минерализация, г/л; рН	Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л)	Температура, °С	
SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—10; 7—7,3	CH ₄ ; N ₂ ; H ₂ S	H ₂ S (> 10); I (> 5); Br (> 50); F (3—32)	16—30	Обой, Шор, Сокули, Суйджикун
Cl—Na, Cl—Ca—Na; 10—100; 6—7	CH ₄ ; N ₂ ; H ₂ S	I (5—470); Br (> 25); HBO ₂ (до 2000); H ₂ S (10—150)	20—44	Куйляр, источник в районе стан- ции 22 Ка- занджик
SO ₄ —Cl—Na, Cl—Na; 2—40; 7—7,5	CH ₄ ; H ₂ S; N ₂	H ₂ S (10—110); I (5—50); Br (25—300)	16—32	Ханга, Каскыр-Бу- лак, скв. 12 Боя-Даг
Cl—Na; 50—150; 5—6,5	CH ₄ ; N ₂	HBO ₂ (до 200,0); I (5—100); Br (25—500)	20—45	Скв. 8 Не- бит-Даг, скв. 9 Кули- даг
SO ₄ —Ca—Mg, Cl—SO ₄ —Ca— Na; 2—10; 6,5—8,5	N ₂ ; CH ₄ ; H ₂ S	H ₂ S (10—200)	12—37	Скв. 28 ку- рорт Арч- ман, скв. 34 Гяурс-Даг, ист. Серный, скв. 95 Мар- сарай, скв. 88 Аджикули скв. 23
Cl—Na; 8—20; 5,0—6,5	CH ₄ ; N ₂ ; H ₂ S	H ₂ S (10—50); I (10—50); Br (25—30); HBO ₂ (40—50); H ₂ SiO ₃ (20—55)	20—45	Терс-Акан
Cl—SO ₄ —Na, Cl—Na; 3—300; 5—7	CH ₄ ; N ₂ ; H ₂ S	Br (25—800); H ₂ S (10—1500); HBO ₂ (50—1000); Pb (до 30); Zn (до 8); As (до 1)	18—92	Источники 54 и 55 Челе- кен, Север- ный, Юж- ный, скв. Ко- тур-Тепе, скв. 7-75, р-152 Челе- кен

формационные зоны: синклинорную — северо-восточную, центральную и юго-восточную; антиклинорную — юго-западную. В геологическом строении области участвуют комплексы основания: геосинклинальный и орогенный [20].

Комплекс основания сложен архей-протерозойскими и нижнесреднепалеозойскими образованиями общей мощностью до 15 км. Горные породы архей-протерозоя представлены гнейсами, сланцами, амфиболитами и мраморами. Среди палеозойских пород преобладают карбонатные, реже терригенные песчано-сланцевые отложения. Комплекс основания имеет выход на поверхность в пределах Среднего массива Юго-Западного Памира. Геосинклинальный комплекс включает отложения от карбона до юры. В нижней части разреза проходит флишеидная толща карбона-нижней перми, которая состоит из песчаников, алевролитов и аргиллитов с горизонтами гравелитов и известняков общей мощностью до 2 км. Верхняя пермь и триас сложены терригенно-карбонатными отложениями, рифовыми известняками, диабазами и туфами. В осевой части южного Памира мощность рифовых известняков достигает 1 км.

В конце триаса сформировались пестроцветные молассы мощностью до 0,6 км. Верхняя часть геосинклинального комплекса представлена карбонатной и песчано-конгломерато-сланцевой толщей юры мощностью до 2,5 км. Геосинклинальный комплекс имеет полный разрез в пределах синклинозной зоны, где его мощность достигает 6,5 км. Орогенный комплекс представлен различными по составу изверженными породами и молассами. Мощность нижней красноцветной молассы мелового возраста до 0,8 км. Выше по разрезу залегают известняки и андезито-риолиты сенон-эоцена общей мощностью 1,5 км. В этот же период сформировались отдельные массивы гранодиоритов, монзонитов и калиевых гранитов.

Во время новейшей тектоно-магматической активизации в олигоцен-миоцене сформировались верхняя красноцветная моласса и вулканогенные породы дацит-андезитового состава общей мощностью до 2 км. В этот период внедрялись тела щелочных сиенитов и габброидов. Наиболее полный разрез пород орогенного комплекса имеет синклинозная зона. Общая мощность их до 4 км.

На Южном Памире наиболее широкое развитие имеют кремнистые термы, обогащенные бором и фтором. Их формирование обусловлено тектонической нарушенностью и денудацией многокилометровой толщи пород в период неогеновой активизации. Образование углекислоты обусловлено процессами термометаморфизма мраморов, залегающих среди докембрийских кристаллических и метаморфических пород. Формирование борных и фторсодержащих вод связано с процессом альпийского рудогенеза, характерным для всей Средиземноморской провинции минеральных вод.

По геолого-структурным особенностям, условиям формирования и распространения минеральных вод в пределах Южнопамирской области выделяют Юго-Западный и Северо-Восточный районы минеральных вод.

Юго-Западный район наиболее богат минеральными водами. Он занимает площадь срединного массива. Основные водоносные комплексы района — комплекс основания и орогенный (табл. 8.4).

Трещинно-жильные и пластово-трещинные минеральные воды комплекса основания приурочены к зонам разломов и трещинам в гнейсах, кристаллических сланцах, мраморах и амфиболитах. По химическому составу минеральные воды — гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатные кальциевые или натриевые с минерализацией 0,3—4,5 г/л и температурой 7—76 °С.

В минеральных водах часто содержатся: свободная углекислота (от 0,5 до 2,2 г/л), кремнекислота (до 150 мг/л), железо (до 60 мг/л), бор HBO_2 (до 250 мг/л), фтор (до 16 мг/л). Повышенные количества кремнекислоты и других компонентов содержатся как в термальных, так и в холодных углекислых водах. Холодная (7 °С) углекислая ($\text{CO}_2 = 2,2$ г/л) вода гидрокарбонатного магниево-кальциевого состава с минерализацией 1,5 г/л (ист. Романит) содержит 60 мг/л кремнекислоты и 61 мг/л железа. Кремнистые термы района имеют более широкое развитие в сравнении с углекислыми водами. Типичным представителем кремнистых терм может служить ист. Гарм-Чашма, на базе которого функционирует бальнеолечебница. Термальная (60 °С) хлоридно-гидрокарбонатная натриевая вода содержит 52 мг/л кремнекислоты и 3,2 мг/л фтора. Минерализация воды 3,2 г/л.

Исключительна по составу и минерализации минеральная вода ист. Дарайнамак. Химический состав воды хлоридный натриевый с минерализацией 61 г/л. В источнике установлены следующие биологически активные компоненты: бром (424 мг/л), бор HBO_2 (6800 мг/л), кремнекислота (100 мг/л). Выход источника приурочен к трещиноватой зоне в гнейсах и сланцах архей-протерозоя.

Важное значение для использования в целях бальнеологии имеют минеральные воды орогенного водоносного комплекса. В связи с интенсивной тектоно-магматической активизацией, Юго-Западный район испытал поднятие, сопровождавшееся денудацией многокилометровых отложений геосинклинального и орогенного этажей. В пределах района сохранились лишь породы складчатого основания с интрузиями гранитоидов. Минеральные воды развиты в зонах раз-

ломов и трещиноватости гранодиоритов и гранитов. По химическому составу преобладают гидрокарбонатные и гидрокарбонатно-сульфатные натриевые воды с минерализацией до 5 г/л. Температура их достигает 71 °С (ист. Иссыкбулак), содержание кремниевой кислоты — 120 мг/л (ист. Сумма). Термальные источники (Бельден, Иссыкбулак и др.), как правило, обогащены фтором (до 16 мг/л) и бором (до 100 мг/л). Углекислые воды в орогенном комплексе в районе встречаются очень редко.

Северо-Восточный район характеризуется редкими выходами источников минеральных вод. Основные водоносные комплексы — геосинклинальный и орогенный (см. табл. 8.4). Наиболее обводнены горизонты песчаников и рифовых известняков пермотриаса, а также отдельные зоны разломов. Пластово-трещинные и пластово-поровые воды обычно хо-

Таблица 8.4

Южно-Памирская область кремнистых терм и углекислых вод (по

Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геолого-литологическая характеристика	Физико-химическая	
		Основной химический состав; минерализация, г/л:	рН

Юго-западный

Кремнистые термы, углекислые, борные, хлоридные натриевые	1. Водоносный комплекс основания; гнейсы, сланцы, амфиболиты, мрамора, песчаники, глинистые сланцы	HCO ₃ —Ca—Na, HCO ₃ —SO ₄ —Ca—Na, Cl—SO ₄ —Ca—Na; 0,3—4,5; 6,5—7,3 Cl—Na; 61; 6,5—7
---	--	---

Кремнистые термы, углекислые, борные, фторсодержащие	2. Орогенный; гранодиориты, сиениты, андезиты, дациты, монцониты, известняки, песчаники, глинистые сланцы	HCO ₃ —Na, HCO ₃ —SO ₄ —Na; < 5; 6,5—9
--	---	---

II. Северо-восточный

Кремнистые термы, углекислые воды	1. Геосинклинальный; песчаники, алевролиты, аргиллиты, известняки, диабазы, туфы	HCO ₃ —Na; 1—4; 6,5—6,8
-----------------------------------	--	---------------------------------------

Кремнистые термы углекислые, борные, фторсодержащие воды	2. Орогенный; гранодиориты, сиениты, андезиты, дациты, монцониты, известняки, песчаники, глинистые сланцы	HCO ₃ —Ca, HCO ₃ —Na; 1—5; 6,5—6,8
--	---	---

лодные или слаботермальные (7—25 °С). Трещинно-жилльные воды (ист. Джерты-Гумбез) имеют более высокую температуру (до 65 °С). Минеральные воды геосинклинального водоносного комплекса по химическому составу гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 1—4 г/л. В отдельных источниках (Бахмыр) установлены повышенные количества свободной углекислоты (до 1 г/л). Минеральные воды орогенного комплекса по химическому составу и минерализации близки к водам подстилающего комплекса. По зонам разломов и в краевых частях отдельных интрузий гранитоидов мел-палеогена известны выходы термальных кремнистых вод (ист. Элису). Количество кремнекислоты в водах достигает 110 мг/л, фтора 1—5 мг/л. Наиболее высокая температура вод 63,5 °С отмечена в краевой части района, граничащей с антиклинорной зоной Юго-Западного района.

Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
Газовый состав	Специфические компоненты (содержание, мг/л)	Температура, °С	
<i>район</i>			
N ₂ ; CO ₂	H ₂ SiO ₃ (> 50); CO ₂ (> 500); HBO ₂ (> 50); H ₂ SiO ₃ (> 50); Vr (до 424); HBO ₂ (до 6800)	7—76; 20—50	Гарм-Чашма, Романит, Да- райнамак
N ₂ ; CO ₂	H ₂ SiO ₃ (> 50); CO ₂ (> 500); F (5—16)	15—71	Бельден
<i>район</i>			
N ₂ ; CO ₂	H ₂ SiO ₃ (> 50); CO ₂ (> 500)	7—65	Джерты-Гум- без, Бахмыр, Иссык-Булак
N ₂ ; CO ₂	H ₂ SiO ₃ (> 50); CO ₂ (> 500); HBO ₂ (> 500); F (5—15)	15—55	Элису, Акташ

8.2. Тихоокеанская провинция

Провинция занимает территорию складчатых сооружений Тихоокеанского пояса. В ее пределах выделяются Корякско-Камчатская, Курило-Камчатская и Сахалинская складчатые системы.

Провинция минеральных вод Тихоокеанского пояса отличается от всех других провинций высокой активностью в мезозое и кайнозое, проявлением гипербазит-базитового магматизма. Здесь оказались очень активными позднемеловые и кайнозойские короразрушающие процессы, которые временами приводили к обнажению складчатого сиалического фундамента. Не меньшее значение имели и корообразующие процессы с образованием в кайнозое прогибов и впадин, заполненных осадочными и осадочно-вулканогенными толщами. В неогене создавались условия благоприятные для образования нефтегазоносных и угленосных толщ.

Камчатская и Курильская складчатые области отличаются наличием современных действующих вулканов, которые определяют особенности гидрогеологических условий этой провинции.

В пределах провинции выделяют Корякско-Камчатскую, Курило-Камчатскую и Сахалинскую области минеральных вод.

Интенсивная проявленность процессов молодой и современной вулканической деятельности создала благоприятные условия для формирования углекислых, железистых, купоросных, мышьяковистых, фторсодержащих, борных и кремнистых вод.

Отсутствие в пределах провинции эвапоритовых отложений определило неблагоприятные условия для формирования сероводородных вод (исключая фумаролы). По той же причине не получили развитие высококонцентрированные рассолы хлоридного натриевого состава. Преобладание в составе магматических пород базитов и гипербазитов не способствовало концентрированию радиоактивных элементов, что явилось основной причиной бедности провинции радонными водами.

Корякско-Камчатская область минеральных вод включает южную часть Корякского нагорья и западную половину Камчатки. От Монголо-Охотской складчатой системы на западе она отделяется глубинным разломом. Другой глубинный разлом вдоль Срединного хребта Камчатки (Главный Камчатский разлом) отделяет ее от Курило-Камчатской области.

К комплексу основания Корякско-Камчатской области относятся архей-протерозойские, палеозойские и частично мезозойские сильно метаморфизованные толщи, выходящие на поверхность в приподнятых блоках антиклинальных структур (гнейсы, мигматиты, кристаллические сланцы, амфиболиты, песчаники и вулканические породы). Общая мощность их достигает 15 км. Толщи комплекса основания прорваны мезозойскими и палеоген-неогеновыми гранитоидами и габброидами.

Главный геосинклиальный комплекс общей мощностью 15 км сложен морскими верхне-меловыми, палеогеновыми, миоценовыми отложениями (кремнистые и глинистые сланцы, туфы, туффиты, спилиты, туфопесчаники, диабазы, конгломераты, песчаники, алевролиты и аргиллиты, в верхней части — мощная флишевая толща и покровы эффузивов).

Орогенный комплекс общей мощностью до 2 км представлен терригенными и вулканогенными отложениями верхнемиоценового, плиоценового и четвертичного возрастов (прибрежно-морские, морские терригенные молассы и вулканогенные формации). Они заполняют небольшие межгорные впадины и образуют вулканические покровы. На поднятиях их мощность резко сокращается.

Корякско-Камчатская область характеризуется большим разнообразием гидрогеологических условий. В пределах складчатого фундамента водоносны лишь зоны разломов и верхняя трещиноватая (до глубины 150 м) зона свободного водообмена.

В кристаллических, метаморфических и вулканических породах комплекса основания формируются углекислые воды и кремнистые термы, приуроченные к зонам глубинных разломов. На локальных участках формируются мышьяковистые, купоросные и фторсодержащие воды. По химическому составу они гидрокарбонатные или гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые с минерализацией 1—5 г/л. Содержание свободной углекислоты достигает 3 г/л, мышьяка 5 мг/л, бора 260 мг/л, фтора 20 мг/л, кремниевой кислоты 150 мг/л (источники Малкинские, Хейванские и др.). В водоносном комплексе геосинклиального этажа широко развиты пластово-трещинно-жильные и трещинно-пластовые воды различного состава и минерализации (табл. 8.5).

В пределах Большерецкого, Тигильского, Паланского и Кинкильского артезианских и адартезианских бассейнов на глубинах более 200 м вскрыты гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией 6—12 г/л (скв. 26-К Воямпольская, скв. 10 Хромовская).

Тихоокеанская провинция (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геологическая характеристика	Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
		Основной химический состав; элементная реализация, г/л; рН	Специфические компоненты (солежание, мг/л; R: Bк/л)	Температура, °С	

I. Корякско-Камчатская область

Хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные хлоридно-сульфатные углекислые воды, кремнистые термы	1. Докембрийско-мезозойский трещинно-жилых вод кристаллических массивов; гнейсы, гранулиты, граниты, сланцы, туфы	Cl—HCO ₃ —Ca—Na, HCO ₃ —Cl—Ca—Na, Cl—SO ₄ —Na; 0.5—5; 5.5—9.5	CO ₂ (2000—3000); H ₂ SiO ₃ (50—120)	6—83	Малкинские, Хэйванские
Гидрокарбонатные, сульфатные, хлоридные, углекислые воды и кремнистые термы	2. Палеоген-неогеновый трещинно-жилых и трещинно-пластовых вод впадин; андзитобазальты, порфириты, туфобрекчии, песчаники, конгломераты	SO ₄ —HCO ₃ —Mg—Ca (Ca—Na), HCO ₃ —SO ₄ —Mg—Ca (Na), Cl—SO ₄ —Ca—Na, SO ₄ —Cl—Na (Na—Ca), SC ₄ —Cl—Na, HCO ₃ —Cl—Mg—Na, Cl—Na 0.7—12; 5.9—3.5	CO ₂ (50)—200); H ₂ SiO ₃ (50—150); As (0.5—12); HBO ₂ (50—300)	6—98	Паланские, Апельские, Озерковские, скв. Храмовская

II. Курило-Камчатская область

Хлоридно-сульфатные, хлоридно-сероводородно-углекислые (фумарольные) термы	1. Мел-четвертичный трещинно-жильных и трещинно-пластовых вод; туфобрекчи, базальты, порфириты, туфолесчанки, конгломераты, алевролиты	SO ₄ —Cl—H—Al, Cl—Na; 2—20, 1,5—2,5 Cl—Na; 1—5; 7,5—9	H ₂ SO ₄ (500—1300); CO ₂ (300—3500); Fe (50—200); H ₂ S (40—300); H ₂ SiO ₃ (100—650); CO ₂ (300—3500); HBO ₂ (50—400); H ₂ SiC ₃ (35—400)	55—100	Узонские, Менделеевские, Кислый Ключ, Белый Ключ
Хлоридные, азотно-углекислые термы				95—100	Паужетские, Долина Гейзеров, Горячий Пляж
Гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные, хлоридные, углекислые термы		HCO ₃ —Na (Ca, Mg), HCO ₃ —Cl—Mg—Ca, Cl—Ca—Na; 2—8, 6—6,5	CO ₂ (500—3500); HBO ₂ (50—200); As (1,5—10)	20—75	Налачьяские, Дачные
Гидрокарбонатно-хлоридные, сульфатно-хлоридные, хлоридно-сульфатные кремнистые (азотные щелочные) термы		Cl—HCO ₃ Cl—SO ₄ , SO ₄ —Cl; 0,4—2,5; 7,2—9,2	H ₂ SiO ₃ (35—250)	25—100	Паратунские, Навичинские, Добрый Ключ

Продолжение табл. 85

Тип минеральных вод	Основной водоносный комплекс; его геологическая характеристика	Физико-химическая характеристика минеральных вод			Основные месторождения, источники, скважины минеральных вод
		Средний химический состав; минерализация, г/л; рН	Специфические компоненты (состав); мг/л; рп, Бк/л	Температура, °С	
Гидрокарбонатные углекислые, борные	1. Верхнемеловой галеогеновый трещинно-пластовых вод; туфолиты, известняки, песчаный, алевролиты, известняки	HCO_3-Na (Ca—Na); 2,5—4; 6,2—6,5	CO_2 (100)—1500), H_2BO_3 (5)—300)	5—6	Матросовские (кв. 6-А Псединская, вода «Сахалинская»
		$\text{Cl}-\text{HCO}_3-\text{Na}$; 0,4—2; 6,5—7 $\text{Cl}-\text{Na}$; 8—35; 7—8,5	H_2SiO_3 (50—80)	20—40	Лесогорские
Гидрокарбонатно-хлоридные, кремнистые термы Хлоридные воды	2. Неоген-четвертичный трещинно-жильных, трещинно-пластовых и порово-пластовых вод	$\text{HCO}_3-\text{Cl}-\text{Na}$; 15—25; 6,5—6,6	CO_2 (2000—2500), H_2BO_3 (2000—2500), I (14—20), As (28—60), H_2SiO_3 (6)	10—30	Скв. 2-П Большехолмская
		$\text{Cl}-\text{HCO}_3-\text{Na}$, $\text{Cl}-\text{Na}$; 8—50; 7,3—7,7	I (10—60), Br (25—6), $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (50—350)	8—10	Скв. 16, 17, 18 Синегорские
Гидрокарбонатно-хлоридные, хлоридные, йодобромные, борные				20—60	Дагинский, сфв 8-А Аривская скв. 19 Ингорская скв. 90 Поронайская

III. Сахалинская область

За счет внедрения молодых вулканитов водоносный комплекс геосинклинального этажа характеризуется наличием углекислых вод и кремнистых терм пластово-трещинного и пластово-порового типов. В этих водах (источники Оксинские, Быстринские, Озерковские и др.) часто содержатся повышенные количества мышьяка (до 5—10 мг/л), фтора (до 20 мг/л), бора HBO_2 (до 300 мг/л) и кремнекислоты (до 150 мг/л).

Курило-Камчатская область минеральных вод имеет до меловое складчатое основание, сложенное метаморфизованными осадочными терригенными и кремнистыми породами, сланцами, роговиками и кварцитами, прорванными гранитоидами, габброидами и сненитами.

Геосинклинальный комплекс слагают следующие толщи: верхнемеловые вулканические породы мощностью более 2,5 км; олигоценовые и позднемиоценовые базальты; андезиты, их туфы и туффиты, песчаники, алевролиты мощностью от 0,5 до 2 км; среднемиоценовые грубообломочные терригенные породы с линзами углистых сланцев и углей мощностью 1—1,5 км; верхнемиоценовые-нижнеплиоценовые вулканические породы, туфы, туффиты, песчаники, алевролиты мощностью 0,4—2 км; верхнеплиоценовые и четвертичные базальты и андезиты мощностью 0,4—0,7 км, приуроченные к вулканическим поднятиям. В прогибах вулканические породы замещаются глинами, алевролитами, песками мощностью до 0,2 км.

Курило-Камчатская область характеризуется интенсивными проявлениями современной вулканической деятельности. Водоносный комплекс основания имеет выходы на поверхность лишь в пределах Восточно-Камчатского антиклинория. На большей ее части развит водоносный комплекс, приуроченный к породам геосинклинального этажа. В кристаллических и метаморфических породах основания источники углекислых и азотных кремнистых терм разгружаются по отдельным зонам разломов. В водоносном комплексе геосинклинального этажа состав минеральных вод наиболее разнообразный. Выделяются четыре основных генетических типа минеральных вод: сероводородно-углекислые (фумарольные), азотно-углекислые, углекислые и азотные щелочные термы.

Фумарольные термы формируются, как правило, вблизи активных вулканических очагов. Они находятся в кратерах, кальдерах и глубинных трещинах на склонах действующих вулканов. Процессы выщелачивания вулканических пород кислыми термами приводят к обогащению последних различ-

ными элементами (Fe, Al, Ca, Na, Si, Ba, F и др.). Среди газов установлены H_2S , CO_2 , CO, HCl, HF, SO_2 , H_2 . Термы часто имеют сульфатно-хлоридный или хлоридный состав и сильноокислую реакцию (источники Узонские, Менделеевские, Кислый Ключ, Белый Ключ). Температура терм достигает $100^\circ C$.

Азотно-углекислые термы часто связаны с обширными кальдерами и крупными депрессиями, заполненными вулкано-генными породами. Примерами месторождений этих вод могут служить: Паужетское, Долина Гейзеров, Горячий Пляж. Состав минеральных вод хлоридный натриевый с минерализацией до 5 г/л. В азотно-углекислых термах (см. табл. 8.5) установлены высокие содержания HBO_2 (до 400 мг/л) и H_2SiO_3 (до 400 мг/л).

Углекислые термальные воды формируются в пределах артезианских и адартезианских бассейнов с глубоким залеганием водоносных горизонтов. Они имеют пестрый химический состав и относительно невысокую температуру (до 50 , редко до $75^\circ C$). Минерализация этих вод часто менее 3 г/л (источники Налачевские, Дачные и др.). Содержание бора HBO_2 в водах достигает 200 мг/л. Азотные щелочные кремнистые термы формируются в зонах глубинных разломов за пределами очагов вулканизма. По составу термы хлоридно-сульфатные с минерализацией до 1,5 г/л и высоким содержанием кремнекислоты (до 150 мг/л). Температура источников (Паратунские, Начикинские, Добрый Ключ и др.) колеблется от 25 до $100^\circ C$. Концентрация бора HBO_2 в азотных кремнистых термах не превышают 70 мг/л.

Сахалинская область минеральных вод представляет собой кайнозойскую складчатую систему. Основанием ее служат мезозойские (доальбские) складчатые структуры, а также более древние сложнодислоцированные образования (сланцы, филлиты, кварциты). Мощность их достигает 3 км.

Геосинклинальный комплекс сложен тремя структурными этапами: 1) верхпалеозойским; 2) мезозойским (доверхнемеловым); 3) верхнемеловым-палеогеновым.

Нижний этаж представлен толщей граувакковых песчаников, кремнистых пород, туфов, спилитов, андезитовых порфиров и известняков мощностью более 1 км; средний этаж — кремнисто-глинистыми сланцами, яшмами, туфами, спилитами, диабазами, линзами туффитов, гравелитов, конгломератов общей мощностью до 4 км. Верхний этаж сложен свитами ритмически переслаивающихся терригенных пород

и толщей алевролитов, туфопесчаников, туфов, эффузивов и известняков суммарной мощностью до 10 км.

К концу геосинклинального этапа развития в Сахалинской области на месте поднятий и прогибов сформировались складчатые структуры. Орогенный (молагассовый) комплекс представлен континентальными и прибрежно-морскими неогеновыми и четвертичными отложениями — слабо сцементированными песчаниками, алевролитами, аргиллитами и глинами с прослоями гравелитов и конгломератов. Встречаются прослои углистых аргиллитов и бурых углей. В Северо-Сахалинском прогибе континентальные толщи неогена замещаются морскими отложениями, содержащими залежи нефти и газа. Интрузивные образования, связанные с орогенным комплексом, немногочисленны и представлены габброидами, сиенитами, дайками андезитов и покровами палеобазальтов. Максимальная мощность орогенного комплекса достигает 6 км.

Сахалинская область представляет собой систему синклинорных и антиклинорных зон, протягивающихся в субмеридиальном направлении. Водоносный комплекс складчатого основания имеет локальное распространение в пределах Центрального и Восточно-Сахалинского антиклинориев и Сусунайского горста. Минеральные воды в этом комплексе встречаются довольно редко и приурочены к отдельным зонам разломов. Богатством типов минеральных вод отличаются водоносные комплексы геосинклинального и орогенного этажей. Они имеют большую мощность в пределах синклинорных зон, являющихся межгорными артезианскими бассейнами. Наиболее крупные из них: Поронайский, Северо-Сахалинский, Сусунайский. На Сахалине распространены углекислые, йодобромные, купоросные, железистые, мышьяковистые, фторсодержащие, борные и кремнистые термы.

Наибольшим разнообразием минеральных вод отличаются верхнемеловой-палеогеновый (геосинклинальный) и неоген-четвертичный (орогенный) водоносные комплексы. В геосинклинальном водоносном комплексе наиболее известны углекислые гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией 2—5 г/л, представленные группой Матросовских источников. Они формируются в зоне глубинного разлома в крайней части Поронайского артезианского бассейна. Кремнистые термы различного состава с минерализацией до 2 г/л приурочены к разломам в песчаниках и сланцах верхнего мела. Температура вод достигает 39 °С (источники Лесогорские, Агневские и др.). Отдельными скважинами в верхнемеловом-палеогеновом водоносном комплексе вскрыты ходы

хлоридного натриевого состава с минерализацией 35 г/л (скв. 2-П Большехолмская).

В орогенном комплексе в песчаниках и конгломератах неогена, осложненных зоной глубинного разлома, вскрыты углекислые воды Синегорского месторождения. По составу воды гидрокарбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией 22 г/л. В них установлены (см. табл. 8.5) повышенные концентрации мышьяка (до 60 мг/л), иода (до 20 мг/л), кремнекислоты (до 60 мг/л) и бора (до 2600 мг/л).

Йодобромные воды распространены в прибрежно-морских отложениях миоцена Северо-Сахалинского артезианского бассейна. Содержания в водах иода и брома достигают 60 мг/л (скв. 90 Паронайская и др.). В ионно-солевом составе иодобромных вод преобладают хлориды и гидрокарбонаты натрия. Воды имеют повышенную минерализацию (50 г/л).

В связи с проявленностью сульфидов железа, мышьяка, соединений фтора и бора, в орогенном водоносном комплексе имеют развитие железистые, купоросные, мышьяковистые, фторсодержащие и борные воды (источники Куэгда, Синегорские и др.).

ГЛАВА 9

МЕТОДИКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

Основные потребители минеральных лечебных вод в СССР — курорты, санатории, бальнеолечебницы. Одновременно по разрешению органов здравоохранения минеральные воды идут на разлив и широко применяются как лечебные и лечебно-столовые.

Для удовлетворения постоянно возрастающих потребностей здравоохранения в минеральных водах в СССР проводятся планомерные поисково-разведочные работы, направленные на выявление новых месторождений минеральных вод и оценку их эксплуатационных ресурсов.

9.1. Понятие о месторождении минеральных вод

Определение месторождения минеральных вод впервые было дано А. М. Овчинниковым. Он отмечал, что хотя термин «месторождение» или «залежь» (gisement) минеральных вод широко применялся во Франции (Л. Де-Лонэ, Л. Арман и другими учеными), но он не имел точного определения. А. М. Овчинников предложил под месторождением минеральных вод понимать: «...пространственно оконтуриваемые скопления воды определенного состава (отвечающего установленным кондициям) в количествах, достаточных для экономически целесообразного их использования». Понятие «месторождение минеральных вод» представляет собой гидрогеологическую, бальнеологическую и экономическую категории. Оно в полной мере согласуется с понятием о месторождении полезного ископаемого.

В действующей инструкции [8] под месторождением минеральных вод подразумевается пространственно ограниченная часть водоносной системы, в пределах которой под влиянием естественных факторов создаются благоприятные по сравнению с окружающими площадями условия для отбора минеральных вод в количестве, достаточном для их целевого использования в народном хозяйстве. В этом определении экономическая категория месторождения минеральных вод отсутствует. В предшествующем издании инструкции (1979 г.) технико-экономические показатели при выборе

эксплуатационных участков в пределах месторождения учитывались. Вместе с тем и в действующей инструкции [8] вопросы экономической целесообразности использования минеральных вод определены их эксплуатационными запасами, т. е. количеством подземных вод, которое может быть получено на месторождении с помощью рациональных в технико-экономическом отношении водозаборных сооружений.

Под рациональной эксплуатацией понимается «экономически целесообразная эксплуатация, обеспечивающая охрану подземных вод от загрязнения и истощения их эксплуатационных запасов и позволяющая сохранить на заданном уровне экологические условия» [32]. Это определение указывает на то, что подземные воды, в том числе и минеральные, рассматриваются как полезные ископаемые и как элемент природной среды. Таким образом, в настоящее время понятие о месторождении минеральных вод содержит гидрогеологическую, бальнеологическую, экономическую и экологическую категории. Поэтому определение месторождения минеральных вод, данное в инструкции, следует дополнить и предложить в следующем виде. Месторождения минеральных вод представляют собой пространственно ограниченную часть водоносной системы, в пределах которой под влиянием различных факторов (естественных и техногенных) создаются благоприятные по сравнению с окружающими площадями условия для экономически целесообразной эксплуатации минеральных вод в количестве достаточном для их целевого использования в народном хозяйстве, обеспечивающие охрану их от истощения и загрязнения и позволяющие сохранить на заданном уровне экологические условия.

9.2. Типизация месторождений минеральных вод

Типизация месторождений минеральных вод может быть построена с учетом различных признаков: структурно-тектонических, гидрогеодинамических, гидрогеохимических и т. д. Одни из них представляют интерес при эксплуатации месторождений, другие ориентируют поисковые и разведочные работы. А. М. Овчинников выделил месторождения минеральных вод: 1) с газами окислительной обстановки; 2) с газами восстановительной обстановки; 3) с газами метаморфической обстановки; 4) радиактивных вод. Типизация месторождений углекислых вод, разработанная М. А. Овчинниковым для геологоразведочных целей, основана на учете геолого-структурных особенностей, генезиса

трещинных зон и гидрогеодинамических закономерностей. Она учитывает важнейшие показатели: коллекторские свойства пород, характер разгрузки и режима минеральных вод.

Г. С. Вартамян и Л. А. Яроцкий показали, что условия локализации минеральных вод в значительной мере определяются геолого-структурными и гидрогеодинамическими особенностями. Г. С. Вартамян выделил 6 типов месторождений: 1) пластовые месторождения платформенных артезианских бассейнов; 2) пластовые месторождения предгорных и межгорных артезианских бассейнов и артезианских склонов; 3) артезианских бассейнов и склонов, связанные с зонами разгрузки глубинных минеральных вод в вышележащие водоносные напорные горизонты («гидроинжекционный» тип); 4) трещинно-жильных водонапорных систем; 5) приуроченные к зонам разгрузки напорных потоков в бассейне грунтовых вод («гидроинжекционный» тип); 6) грунтовых минеральных вод.

На стадии более детального изучения в каждом гидрогеологическом районе проводится типизация месторождений минеральных вод с соответствующим выделением подтипов, которые полнее отражают их гидрогеологические особенности. Так, Г. С. Вартамян, в горно-складчатых районах выделил подтипы месторождений локального распространения углекислых минеральных вод: 1) нормальных сбросов; 2) малоамплитудных взбросов и надвигов; 3) крупноамплитудных взбросов и надвигов; 4) линейных даек, жил и силлов; 5) кольцевых и конических даек; 6) экзоконтактов интрузивов; 7) интрузивных диапиров; 8) кольцевых сбросов. Выделенные подтипы месторождений отличаются друг от друга не только структурно-тектоническими особенностями, но и гидрогеологическими условиями, характером разгрузки углекислых вод и их режимом.

О. И. Ривман и В. Б. Адиллов в межгорных впадинах Средней Азии для целей разведки выделили три подтипа месторождений: 1) мелкоочаговый в краевых и наиболее приподнятых частях бассейна; 2) крупноочаговый в пределах моноклинального склона; 3) региональный в наиболее погруженных центральных частях бассейна. Выделенные подтипы месторождений отличаются по составу минеральных вод, характеру и связи с зоконтурными водами, режиму фильтрации и величине эксплуатационных запасов [24].

В инструкции ГКЗ (1979 г.) по геолого-структурным особенностям, характеру коллекторов, источникам формирования эксплуатационных запасов и другим признакам выделено 6 типов месторождений минеральных вод: 1) в арте-

зианских бассейнах платформ; 2) в артезианских бассейнах складчатых областей (межгорных впадин и предгорных прогибов); 3) трещинно-жильных вод в горно-складчатых структурах; 4) трещинно-жильных вод в массивах кристаллических и метаморфических пород; 5) в коре выветривания кристаллических и метаморфических пород и осадочных отложений приповерхностной зоны; 6) гидроинжекционные.

По сложности гидрогеологических условий для целей разведки месторождения минеральных вод подразделяются на три группы: 1) с простыми гидрогеологическими, гидрохимическими и геотермическими условиями; 2) со сложными гидрогеологическими условиями; 3) с очень сложными гидрогеологическими условиями [8].

К первой группе относятся месторождения артезианских бассейнов платформ и крупные месторождения артезианских бассейнов складчатых областей, характеризующихся спокойным залеганием водоносных горизонтов, выдержанных по мощности, строению и фильтрационным свойствам. Месторождения второй группы также встречаются в артезианских бассейнах платформ и горно-складчатых областей, но характеризуются невыдержанной мощностью водовмещающих пород, изменчивостью фильтрационных свойств по разрезу и площади, часто сложными гидрохимическими и геотермическими условиями. Месторождения третьей группы встречаются в ограниченных по площади складчатых структурах или массивах пород, в зоне тектонических нарушений, в коре выветривания изверженных и метаморфических пород, на локальных участках в осадочных отложениях и других. Они отличаются высокой изменчивостью мощности и строения водоносных горизонтов и фильтрационных свойств водовмещающих пород.

Анализ существующих типизаций месторождений минеральных вод показывает, что: 1) в большинстве случаев они основываются преимущественно на учете условий локализации минеральных вод, особенностей динамики и формирования их ресурсов; 2) геолого-структурная характеристика месторождений приводится без учета истории геологического развития крупных структур и поэтому часто не отражает общих закономерностей формирования и распространения минеральных вод; 3) большая часть месторождений относится лишь к отдельным типам минеральных вод (углекислые, радоновые и др.) или к отдельным геологическим структурам (горно-складчатые области, массивы кристаллических пород, платформ).

Г. В. Куликовым, В. Б. Адиловым и А. В. Жевлаковым

предложена типизация месторождений, основанная на анализе и учете особенностей геологических структур, водоносных систем и водовмещающих формаций, истории развития и основных процессов формирования минеральных вод, условий их фильтрации и локализации (табл. 9.1). Эта типизация позволяет целенаправленно проводить разведку минеральных вод в пределах конкретных геологических районов и обосновывать мероприятия по рациональному их использованию и охране.

9.3. Ресурсы и запасы минеральных вод

Главной отличительной особенностью запасов минеральных вод от запасов других полезных ископаемых (нефть, газ, твердые) является их возобновляемость. Известно большое число классификаций ресурсов и запасов подземных вод (М. Е. Альтовского, Ф. М. Бочевера, Н. Н. Биндемана, В. Н. Куделина, Н. Н. Плотникова, Л. С. Язвина и других ученых), в соответствии с которыми выделяют: естественные и искусственные ресурсы, естественные и искусственные запасы.

Естественные ресурсы — количество воды, поступающей в водоносный горизонт в естественных условиях в результате инфильтрации атмосферных осадков, фильтрации из рек и озер, перетекания из выше- и нижележащих горизонтов, притока со смежных территорий. Термин «естественные ресурсы», предложенный Ф. П. Саваренским, характеризует питание водоносного горизонта в естественных условиях. Естественные ресурсы равны сумме приходных элементов водного баланса горизонта, характеризуются расходом воды, протекающей в единицу времени через поперечное сечение потока, или количеством воды, ежегодно поступающей в водоносный горизонт.

Искусственные ресурсы — количество воды, поступающей в водоносный горизонт при фильтрации из каналов и водохранилищ, с орошаемых полей, а также при осуществлении мероприятий по усилению питания водоносного горизонта.

Естественные запасы (емкостные) — объем гравитационной воды, заключенной в порах и трещинах водовмещающих пород. Та часть объема воды в водоносном горизонте, которая может быть извлечена при снижении уровня за счет упругих свойств воды и горных пород, называется упругими запасами.

Таблица 9.1

Типы месторождений минеральных вод (по Г. В. Куликову,

Тип месторождения	Водонапорные системы	Основные типы минеральных вод
-------------------	----------------------	-------------------------------

I. Месторождения трещинно-жильных

1. Кристаллических щитов и массивов древних платформ и орогенов	Гидрогеологических массивов	Радоновые, железистые
2. Массивов изверженных и метаморфических пород платформ и орогенов, затронутых процессами тектоно-магматической активизации	Гидрогеологических массивов и гидрогеологических складчатых областей	Углекислые, кремнистые термы
3. Массивов изверженных и метаморфических пород молодых горно-складчатых областей	Гидрогеологических массивов	Углекислые, кремнистые термы, радоновые воды
4. Вулканических, вулканогенно-осадочных и метаморфических пород областей современного вулканизма	Гидрогеологических складчатых областей	Фумарольные, сольфатарные, кремнистые термы, углекислые воды

II. Месторождения порово-пластовых

1. Терригенно-карбонатных отложений нефтегазоносных бассейнов платформ и межгорных впадин горно-складчатых областей	Крупных и средних артезианских бассейнов	Сероводородные, йодобромные, хлоридные натриевые
2. Угленосных бассейнов платформ и межгорных впадин горно-складчатых областей	Крупных и средних артезианских бассейнов	Радоновые, железистые
3. Соленосных бассейнов платформ и межгорных впадин горно-складчатых областей	То же	Хлоридные натриевые, борные
4. Пестроцветных отложений впадин платформ и орогенов	»	Радоновые, железистые
5. Терригенно-карбонатных отложений впадин платформ и горно-складчатых областей	»	Сульфатные, хлоридные натриевые

Ионно-солевой состав	Минерализация, г/л	Дебиты источников и скважин, л/с	Основные месторождения минеральных вод
----------------------	--------------------	----------------------------------	--

и пластово-трещинных вод

Гидрокарбонатный, сульфатный, кальциево-натриевый	1—2	0,1—3,5	Мироновка, Халунвара, Увильды, Гайское
Различный	< 8, иногда 10—15	0,1—50	Молоковка, Аршан-Тункинский, Хмельник, Белокуриха, Джеты-Огуз
Гидрокарбонатный и сульфатный натриевый	< 10	3—5	Джермук, Шаян, Ходжа-Оби-Гарм
Различный	< 5	1—3	Узонское, Гейзерное, Малкинское

и трещинно-пластовых вод

Сульфатно-хлоридный и хлоридный натриевый	3—100	< 10	Сергиевские минеральные воды, Немиров, Усть-Качка, Краснокамск
Сульфатный и хлоридный натриевый	1—5 и более	0,1—3	Мосбасс, Донбасс, Днепробасс
Хлоридный натриевый	> 10	0,1—3	Ключи, Соль-Илецк, Моршин, Усть-Кут
Сульфатный и хлоридный натриевый	> 3	0,1—3	Прикамье, Днепровско-Донецкая впадина, Минусинская котловина
Различный	> 2	0,1—10	Минское, Московское, Дороховское, Талицкое

Продолжение табл. Э.1

Тип месторождения	Водонапорные системы	Основные типы минеральных вод
6. Торфяников на кристаллических щитах и массивах	Малых бассейнов грунтовых вод	Радоновые
7. Осадочных и эффузивно-осадочных пород впадин платформ и орогенов, затронутых тектоно-магматической активизацией	Средних и малых артезианских бассейнов	Углекислые, кремнистые термы, радоновые
8. Эффузивно-осадочных и осадочных пород краевых прогибов и впадин молодых горно-складчатых областей	То же	Углекислые, кремнистые термы, радоновые, сероводородные, йодобромные
9. Вулканогенно-осадочных пород, межгорных впадин областей современного вулканизма	»	Углекислые, кремнистые термы

Искусственные запасы — объем воды в водоносном горизонте, накопившийся в результате орошения, подпора водохранилищами или за счет осуществленных мероприятий по искусственному восполнению подземных вод.

Часто в литературе естественные запасы называются «статическими», «вековыми» или «геологическими», а естественные ресурсы — «динамическими» запасами.

Знание только естественных и искусственных ресурсов и запасов водоносного горизонта недостаточно для определения его эксплуатационных возможностей. Количество воды, которое может быть отобрано из водоносного горизонта рациональными в технико-экономическом отношении водозаборами для различных хозяйственных нужд, принято называть *эксплуатационными запасами* или *эксплуатационными ресурсами*.

В соответствии с классификацией, приведенной в работе [8], «под эксплуатационными запасами понимается количество подземных вод, которое может быть получено на месторождении с помощью рациональных в технико-экономическом отношении водозаборных сооружений при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям целевого использования ее в народном хозяйстве в течение расчетного срока водопотребления».

Ионно-солевой состав	Минерализация, г/л	Дебиты источников и скважин, л/с	Основные месторождения минеральных вод
Гидрокарбонатный	< 1	0,1—1	Источники в Карелии
Гидрокарбонатный, сульфатный, реже хлоридный натриевый	5—8	0,1—10	Нагорное, Питателевское, Дарасун, Лас-точка
Различный	1—20 и более	0,1—20	КМВ, Цхалтубо, Джермук, Боржоми, Мацеста
То же	1—5	1—15	Паратунское, Малкинское

Эксплуатационные запасы минеральных вод могут быть обеспечены естественными ресурсами и запасами. При этом эксплуатация минеральных вод может осуществляться при установившемся или неустойчивом режиме фильтрации. При установившемся режиме фильтрации эксплуатационные запасы полностью обеспечиваются возобновляемыми источниками их формирования. При неустойчивом — в полной мере не обеспечиваются возобновляемыми источниками и в связи с этим происходит сработка емкостных (естественных) запасов.

Соотношение между эксплуатационными, естественными и искусственными ресурсами и запасами определяется (по Н. Н. Биндеману и Л. С. Язвину) балансовым уравнением:

$$Q_3 = \alpha_1 Q_e + \alpha_2 \frac{V_e}{t} + \alpha_3 Q_n + \alpha_4 \frac{V_n}{t} + Q_{пр}, \quad (9.1)$$

где Q_3 — эксплуатационные запасы, м³/сут; Q_e и Q_n — естественные и искусственные ресурсы, м³/сут; V_e и V_n — естественные и искусственные запасы, м³/сут; $Q_{пр}$ — привлекаемые ресурсы, увеличивающие питание подземных вод, м³/сут, образующиеся при усилении фильтрации из рек, озер и перетекании из смежных водоносных горизонтов под воздей-

ствием эксплуатации; t — время, на которое рассчитываются эксплуатационные ресурсы, сут; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ — коэффициенты использования естественных и искусственных запасов и ресурсов подземных вод.

По степени изученности и обоснованности эксплуатационные запасы минеральных вод подразделяются на 5 категорий [8]. Запасы категорий А, В, С₁ являются разведанными; запасы категории С₂ — предварительно оцененными; к категории Р относятся прогнозные ресурсы минеральных вод.

Запасы минеральных вод по категории А подсчитываются на детально разведанных или эксплуатируемых месторождениях по фактической производительности водозаборов при обоснованной возможности сохранения достигнутого водоотбора и устойчивости качества вод на расчетный срок, т. е. при условии установившихся в процессе водоотбора гидродинамическом, гидрохимическом и температурном режимах. Для месторождений с простыми гидрогеологическими условиями запасы минеральных вод категории А могут быть оценены на основании опытной эксплуатации. Запасы минеральных вод категории В оцениваются по расчетной производительности водозаборов в пределах тройной или двойной экстраполяции водоотбора на месторождениях с простыми или сложными гидрогеологическими условиями. Оценку можно сделать только по расчетной производительности действующих водозаборов на месторождениях с очень сложными условиями при обязательной обоснованности возможности сохранения качества вод на расчетный срок эксплуатации, а также по среднесуточному или среднегодовому дебиту родников с вероятностью превышения 95%. При этом расчете дебиты родников должны быть обоснованы результатами многолетних наблюдений за их режимом.

Запасы категории С₁ оцениваются по расчетной производительности водозабора на основе ограниченного числа опробованных скважин в пределах месторождения, а также по данным периодических замеров меженного родникового стока, приведенного к 95% вероятности превышения.

Эксплуатационные запасы категории С₂ оцениваются по расчетной производительности единичных скважин, по аналогии гидрогеологических условий с изученными площадями или результатами других гидрогеологических исследований.

Подготовленность месторождений минеральных вод к освоению определяется требованиями «классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод» [8]. Эксплуатационные запасы подразделяются по на-

роднохозяйственному их значению на балансовые и забалансовые. К забалансовым относятся запасы минеральных вод, использование которых в настоящее время экономически нецелесообразно или технически и технологически невозможно, но в дальнейшем они могут быть использованы.

9.4. Стадийность изучения минеральных вод

Важное значение для научного обоснования поисков и разведки минеральных вод имеют результаты региональных гидрогеологических исследований и комплексных курортологических обследований, а также большого числа пробуренных ранее скважин, вскрывших минеральные воды. На основе региональных исследований и обобщения фактического материала составлены различные схемы и карты распространения и районирования минеральных вод на территории СССР и отдельных его районов. Первая схематическая карта районирования с выделением провинций минеральных вод СССР была подготовлена в 1936 г. под руководством Н. И. Толстихина и А. И. Дзенс-Литовского. В 1938—1939 гг. в результате обобщения обширного материала А. М. Овчинниковым, В. В. Ивановым, Л. А. Яроцким, Н. С. Пчелиным и В. В. Штильмарком была составлена схема районирования минеральных вод СССР, характеризующаяся более глубоким анализом гидрогеологических условий страны, а в 1946 г. А. М. Овчинниковым опубликована карта гидрохимических зон минеральных вод Кавказа. В 1956 г. В. В. Ивановым и Л. А. Яроцким была составлена карта основных областей распространения углекислых, термальных и сероводородных вод. В последующий период, по мере накопления фактического материала, были составлены и опубликованы следующие карты минеральных вод: 1) в 1960 г. В. В. Ивановым, А. М. Овчинниковым, Л. А. Яроцким — карта минеральных вод СССР масштаба 7 500 000; 2) в 1964 г. И. К. Зайцевым и Н. И. Толстихиным — гидрогеохимическая карта СССР масштаба 1 : 5 000 000; 3) в 1967 г. Л. А. Яроцким — карта минеральных вод СССР масштаба 1 : 2 500 000; 4) в 1968 г. под общим руководством В. В. Иванова — карта минеральных лечебных вод СССР масштаба 1 : 4 000 000, которая явилась результатом обширных гидрогеологических обобщений, выполненных Центральным НИИ курортологии и физиотерапии совместно с академическими, научными и производственными геологическими организациями.

Схемы и карты отражают основные закономерности формирования, регионального распространения минеральных вод и обосновывают перспективы развития поисково-разведочных работ с целью выявления их месторождений.

В соответствии с общими принципами поисково-разведочных работ и действующими положениями гидрогеологические исследования минеральных вод осуществляются последовательно с соблюдением стадийности: поиски, предварительная разведка, детальная разведка и эксплуатационная разведка.

Поиски минеральных вод в каждом конкретном районе кроме учета благоприятных гидрогеологических условий должны быть увязаны с перспективами народнохозяйственного развития, потребностями в определенном типе минеральных вод и целесообразностью их использования в данном районе. Структура, объемы, стадийность и методика проведения гидрогеологических исследований определяются характером и масштабами решаемых задач, степенью изученности и сложностью гидрогеологических условий. Во всех случаях осуществляемый комплекс исследований в соответствии со стадийностью их проведения должен обеспечить научно обоснованное решение поставленных задач.

К задачам поисковой стадии относятся: выявление основных закономерностей распространения минеральных вод; выделение их месторождений или площадей, перспективных на вскрытие минеральных вод. На этой стадии основным видом исследований является сбор, анализ и обобщение всех имеющихся по району гидрогеологических материалов (особенно материалов глубокого опорного и нефтяного бурения) с составлением карт, схем, разрезов, профилей и т. д. При необходимости проводятся специальные гидрогеологические (гидрохимические, газовые, термометрические и другие) съемки.

В результате поисковых работ должны быть выделены перспективные участки (продуктивные горизонты) с обоснованием постановки разведочных работ, разработаны ориентировочные кондиционные показатели и дана оценка прогнозных ресурсов минеральных вод по категории Р.

Специализированная геолого-гидрогеологическая или гидрогеологическая съемка проводится в том случае, если имеющиеся по исследуемому району данные, полученные в результате ранее проведенных разведочных работ на другие полезные ископаемые и государственных геологических и гидрогеологических съемок мелкого масштаба недостаточны для решения задач поисковой стадии. Обычно такие специали-

зированные съемки являются также мелкомасштабными (1 : 100 000 — 1 : 500 000) с небольшим объемом поискового и картировочного бурения.

Следующая стадия исследований — предварительная разведка — проводится с целью предварительной оценки эксплуатационных запасов минеральных вод на перспективных площадях, выявленных при проведении поисковых работ. На этой стадии определяют общую величину эксплуатационных запасов месторождений с оценкой их по категориям C_1 и C_2 (из них по категории C_1 — в количестве первоочередной потребности), устанавливают целесообразность их использования и дальнейшего изучения, выбирают участок для проведения детальной разведки месторождения и рациональную схему водозабора. Основное внимание для решения поставленных задач уделяют изучению геологического строения месторождения, источников питания, условий движения и разгрузки минеральных вод. Оценивают характер и масштабы месторождения, изучают вещественный состав водовмещающих пород и водоупорных толщ, состав и качество минеральных вод (физико-химические свойства), элементы режима, процессы формирования состава, процессы формирования эксплуатационных запасов минеральных вод, проводят санитарную оценку минеральных вод месторождения, выясняют условия взаимосвязи с водами некондиционными на плановых и вертикальных контурах месторождения.

Основные виды работ на стадии предварительной разведки: крупномасштабная специализированная съемка, разведочное бурение, полевые и скважинные геофизические исследования, гидрогеологические опытные работы, наблюдения за режимом минеральных вод, гидрогеохимические, газовые, изотопные и другие виды исследований.

Детальная разведка месторождения минеральных вод проводится только при наличии заявки организации, проектирующей курортное строительство, или завода розлива минеральных вод. В заявке должны содержаться расчет потребного количества минеральных вод и требования к режиму эксплуатации месторождения.

На стадии детальной разведки наиболее глубокому и всестороннему изучению подвергается участок планируемого водозабора, на котором эксплуатационные запасы минеральных вод должны быть разведаны с детальностью, обеспечивающей подсчет их запасов по высоким промышленным категориям в объемах, удовлетворяющих заявленную потребность.

Основные виды работ на этой стадии — бурение разведочных скважин на эксплуатационный горизонт (иногда возникает необходимость бурения скважин на смежные водоносные горизонты) и проведение длительных опытно-эксплуатационных откачек из одиночных, реже из нескольких скважин. Проводятся также геофизические, гидрохимические и другие исследования.

Методика изучения месторождений, учитывая многообразие их типов по характеру геологического строения, условиям распространения, формирования состава и ресурсов минеральных вод и другим показателям, требует индивидуального подхода к каждому из них. Особенности конкретно изучаемого месторождения определяют объемы и методы исследований.

9.5. Основные методы изучения и разведки месторождений минеральных вод

Основными видами и методами изучения месторождений минеральных вод являются: комплексная геолого-гидрогеологическая и специальная гидрогеологическая съемки, специальные методы наземных исследований (дешифрирование аэрофотоснимков, термометрическая, газовая, эманационная, водногелиевая съемки), дистанционные гидрометрические, гидрохимические, геофизические исследования, буровые работы, гидрогеологическое опробование, изучение режима минеральных вод, оценка эксплуатационных запасов минеральных вод.

Комплексная геолого-гидрогеологическая и гидрогеологическая съемки имеют специализированный характер. Они могут быть схематичными относительно изучения общих условий распространения подземных вод района и направлены главным образом на изучение закономерностей локализации минеральных вод, процессов формирования их состава и ресурсов, фильтрационных характеристик вмещающих пород и т. д. Специализированность съемок определяется особым вниманием к изучению факторов, обуславливающих формирование состава минеральных вод (тип вод). В районах предполагаемого развития сероводородных вод большое значение придается изучению органических веществ и выявлению в разрезе эвапоритовых отложений (гипсы, ангидриты). Развитие высокоминерализованных вод и рассолов предопределяется соленосностью отложений, радоновых вод — радиоактивностью пород. Формирование

углекислых вод связано с процессами молодого вулканизма и термометаморфизма и т. д. Поэтому изучению факторов формирования состава минеральных вод придается большое значение. По результатам съемок составляются карты и схемы соответствующих масштабов, на которых выделяются водоносные горизонты, комплексы, водоупорные толщи, отражаются глубины залегания подземных вод, их химический состав, опорные водопункты и т. д.

Съемкам предшествуют работы по дешифрированию аэрофотоснимков, которые в значительной мере облегчают картирование структурно-геологических элементов (разломов, складок, флексурных перегибов и т. д.), физико-геологических явлений, выходов подземных вод и их литолого-стратиграфической приуроченности, связь источников с глубинными разломами (зонами тектонических нарушений), проявления карста и связь его с тектоникой, участков с наличием туфов, травертинов, скоплений окисного железа и т. д.

Термометрическая съемка очень эффективна при изучении термальных вод в горно-складчатых районах с целью выявления термальных аномалий, связанных с тектоническими нарушениями. В артезианских бассейнах при наличии мощных толщ пород, перекрывающих продуктивные горизонты, проводится термозондирование в поисковых и разведочных скважинах. Особый интерес при этом приобретает установление мест перетока термальных вод в другие горизонты и холодных вод в продуктивный горизонт.

Газовая съемка успешно проводится при изучении месторождений углекислых и сероводородных вод. Сероводород достаточно отчетливо фиксируется в пробах воздуха, отбираемых из шурфов и скважин. В тех случаях, когда происхождение сероводорода связано с окислением битуминозной органики, в пробах отмечается наличие метана и тяжелых углеводородов, если же с окислением болотной органики, то в основном метана. Для установления генеза сероводорода применяются изотопные определения серы. Известно, что при бактериальном образовании сероводорода происходит его обогащение тяжелым изотопом серы (S^{34}). Отчетливые аномалии возникают под скоплениями углекислых вод. По ослабленным тектоническим зонам углекислый газ из продуктивных горизонтов поступает в грунтовые воды и фиксируется при выделении его из вторичных зон накопления. Для выявления и прослеживания глубинных разломов успешно применяется гелиевая съемка.

Эманиационная съемка проводится с целью выявления месторождений радоновых вод. Радоновые воды формируют

ся в результате процессов эманирования пород и диффузии радона в подземные воды. Концентрация радона в водах зависит от содержания радия в породах, коэффициента эманирования и скорости движения вод. В осадочных и основных магматических и метаморфических породах с нормальным рассеянным содержанием радиоактивных элементов концентрация радона в подземных водах не превышает 1750 Бк/л, а в водах кислых изверженных пород достигает 1050 Бк/л. Высокие концентрации радона в водах встречаются в зонах сильной разрушенности пород, достигая 10 500 Бк/л. Обогащенность подземных вод радоном в этих условиях может быть обусловлена за счет: повышенной концентрации радия в самих породах; больших коэффициентов эманирования сильно разрушенных пород; вторичной обогащенности пород радием. В связи с непродолжительностью (3,825 дня) периода полураспада радона его аномальные содержания в водах могут наблюдаться только в непосредственной близости от эманлирующих коллекторов. При повышенной концентрации радия в породах могут формироваться не только радоновые, но и радоново-радиевые воды.

Геофизические методы исследований при изучении минеральных вод находят очень широкое применение. Они подразделяются на полевые (наземные, воздушные и т. д.) и скважинные. Для выбора рационального комплекса геофизических методов важно знать их поисково-разведочные возможности, учитывая при этом природные условия, характер поставленных задач и степень изученности объекта. Методика проведения геофизических исследований при поисках и разведке минеральных вод детально рассмотрена И. М. Мельниковицким и др. Существуют геофизические методы, при помощи которых в условиях неглубокого залегания минеральных вод и в определенной обстановке можно непосредственно оценивать некоторые гидрогеологические параметры (минерализацию, температуру, радиоактивность) подземных минеральных вод, а также их уровень залегания и направление движения и т. д. Другие геофизические методы дают возможность изучить геологическую структуру месторождения и косвенно оценить некоторые гидрогеологические параметры.

В наибольшей мере при изучении минеральных вод применяются методы электроразведки: вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ), электропрофилирования (ЭП), естественных электрических полей (ЕП), круговых вертикальных электрических зондирований (КВЭЗ), заряженного

тела в скважинах (МЗТ), вызванных потенциалов (ВП), резистивиметрии в скважинах, горных выработках и другие. Метод ВЭЗ отличается универсальностью применения. Он дает возможность провести расчленение геологического разреза до глубины 0,5—0,6 км, охарактеризовать литологический состав пород, получить данные о степени уплотненности отложений, температуре и степени минерализации вод. С помощью малоглубинного метода ЕП, на основе фильтрационных и диффузионных потенциалов, возникающих при движении подземных вод, можно выявить участки разгрузки напорных вод в верхние горизонты грунтовых вод. Для изучения минеральных вод глубоких горизонтов артезианских бассейнов применяется метод дипольного зондирования (ДЗ). Он дает возможность расчленить разрез на отдельные горизонты и проследить крупные разломы. Дорогой по стоимости метод сейсморазведки — КМПВ (корреляционный метод преломленных волн) позволяет с высокой точностью определить глубины залегания маркирующих горизонтов и более детально дифференцировать разрез, выявить разломы, а также под покровными отложениями выделить известняки, доломиты, гранитоиды, резко отличающиеся по значениям граничных скоростей. В дополнение к электроразведке иногда применяется наземная съемка вертикальных составляющих магнитного поля, позволяющая картировать метаморфические и изверженные породы и трассировать зоны разломов. В комплексе ВЭЗ при изучении минеральных вод межгорных и предгорных впадин может применяться метод гравиразведки с целью выявления локальных структур и зон разломов. Достаточно эффективным методом аэрогеофизических исследований является инфракрасная аэросъемка, с помощью которой оконтуриваются участки разгрузки термальных вод — зоны с резкими температурными контрастами.

Для установления характера и количественной оценки разгрузки минеральных вод в речных долинах широко применяются гидрометрические методы исследования. С этой целью организуются на поверхностных водотоках гидрометрические посты. Располагаются они на участках входа рек и притоков в зону месторождения минеральных вод и выхода за ее пределы. На крупных месторождениях для раздельной оценки нескольких очагов разгрузки минеральных вод количество гидропостов увеличивается. Определение величины разгрузки минеральных вод имеет важное значение для оценки достоверности их разведанных эксплуатационных запасов. Последние относятся к категории обеспеченных,

если разгрузка минеральных вод превышает их величину. В этом случае эксплуатационные запасы месторождения формируются за счет перехвата определенной части естественно разгружающихся вод. Гидрометрические исследования проводятся в комплексе с гидрохимическими — изучением химического состава и степени минерализации вод.

Бурение скважин — основной и наиболее дорогостоящий вид работ при поисках и разведке месторождений минеральных вод. Скважины по целевому назначению подразделяются на картировочные, поисковые, наблюдательные, разведочные и разведочно-эксплуатационные.

Картировочные скважины бурят на небольшую глубину с полным отбором керна с целью стратиграфического и литологического расчленения разреза, выделения водоносных зон или горизонтов. Их располагают как на площади предполагаемого месторождения минеральных вод, так и за его пределами.

Поисковые скважины, так же как и картировочные, имеют облегченную конструкцию и небольшие глубины. Они бурятся на стадии поисков и в процессе поисково-съёмочных работ и предназначены для изучения общих гидрогеологических условий, выявления водоносных горизонтов, их прослеживания и предварительного опробования (отбор проб воды, пробные откачки и пр.).

Разведочные скважины бурят в процессе проведения разведочных работ на перспективных участках с целью их детального гидрогеологического изучения, выяснения возможности народнохозяйственного использования минеральных вод и освоения месторождений.

Наблюдательные скважины могут буриться на любой стадии поисково-разведочных работ для наблюдений за режимом минеральных вод (наблюдения за естественным или нарушенным режимом) или за изменением уровня, химического, газового составов, радиоактивности, температуры минеральных вод в период эксплуатации месторождения. При проведении поисково-разведочных работ часто возникает возможность поисковые скважины использовать в качестве разведочных или поисковые и разведочные — в качестве наблюдательных. При возникновении такой возможности существенно снижаются затраты на разведочные работы. Необходимость обязательного бурения наблюдательных скважин возникает при проведении фильтрационных работ на месторождениях высокотермальных, высоконапорных, газонасыщенных вод.

Технические средства, технологии бурения и оборудования

скважин приведены в многочисленной справочной литературе.

Гидрогеологическое опробование как основной вид исследований при поисково-съёмочных и разведочных работах проводится для получения разносторонней гидрогеологической информации о минеральных водах продуктивных коллекторов и подземных водах смежных горизонтов, установления степени их гидравлической связи.

Виды и объёмы гидрогеологических исследований на различных стадиях поисково-разведочных работ определяются главным образом геолого-гидрогеологическими условиями исследуемого района и степенью его изученности. При поисках гидрогеологическое опробование осуществляется для выбора продуктивного горизонта. На стадии разведочных работ гидрогеологическое опробование обеспечивает получение полной информации, необходимой для оценки эксплуатационных запасов минеральных вод. Наиболее широко применяется поинтервальное опробование водоносных горизонтов (отдельных интервалов разреза), вскрываемых скважиной. Основной задачей опробования каждого исследуемого горизонта, пласта при разведке является установление зависимости между величиной водоотбора и качеством минеральных вод. В процессе поинтервального опробования отбираются пробы воды на химический анализ. В зависимости от типа месторождения, стадии его изучения поинтервальное опробование может быть различным. На стадиях предварительной разведки шаг и число опробований определяются таким образом, чтобы представилось возможным провести гидрогеологическую интерполяцию всего разреза, вскрытого скважиной. На стадии детальной разведки, когда гидрогеологический разрез достаточно подробно изучен, на месторождении бурятся разведочно-эксплуатационные скважины и намечаются конкретные интервалы, из которых проводятся откачки или выпуски. Методика проведения пробных и опытных откачек освещена в литературе. Проводятся они для получения сведений о фильтрационных свойствах пород и их изменениях на отдельных участках месторождения, об ионно-солевом и газовом составе минеральных и других подземных вод, температуре, изменении состава вод в зависимости от величины водоотбора и других особенностях месторождения.

Наблюдения за режимом подземных вод осуществляются на всех стадиях разведочных работ и имеют очень важное значение для изучения гидрогеологических условий месторождения. На основе наблюдений за режимом подземных вод устанавливаются источники восполнения их ресурсов.

степень взаимосвязи отдельных горизонтов друг с другом и с поверхностными водами, выявляются изменения ионно-солевого и газового состава, температуры, радиоактивности и т. д. минеральных вод как в условиях естественного, так и нарушенного разведкой и под воздействием эксплуатации состояния месторождения. Режимные наблюдения организуются с начала разведочных работ и в число объектов наблюдений включаются все естественные источники минеральных вод, родники с пресной водой, имеющиеся старые разведочные и эксплуатационные выработки, вскрывшие минеральные или пресные воды, а также основные поверхностные водотоки.

Оценка эксплуатационных запасов минеральных вод. Оценка эксплуатационных запасов минеральных вод является завершающим видом разведочных работ. Основные требования к подсчету эксплуатационных запасов минеральных вод содержатся в классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод и инструкции по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям лечебных минеральных вод, утвержденных ГКЗ СССР [8].

Для минеральных вод главное требование состоит в обязательном выяснении вопроса о степени стабильности их качества при заданном режиме эксплуатации месторождения. Решение этой задачи может быть обеспечено на основе получения, прежде всего, достоверных данных о гидрохимическом режиме месторождения, а также изучения условий формирования состава вод и тех ее особенностей, которые определяют их лечебные свойства. Обоснование прогноза стабильности химического состава, физических свойств и санитарного состояния минеральных вод проводится при оценке эксплуатационных запасов любого типа месторождения. Нужно при этом учитывать, что реакция изменения химического состава, физических свойств минеральных вод, вызываемая эксплуатацией месторождения и опытно-эксплуатационными откачками при его разведке, может проявиться очень медленно. Таким образом, оценка эксплуатационных запасов минеральных вод состоит из определения количества воды, которое может извлекаться на месторождении в течение заданного срока эксплуатации при сохранении стабильности ее химического состава, физических свойств и удовлетворительного санитарного состояния.

Оценка эксплуатационных запасов минеральных вод проводится гидравлическим и гидродинамическим способами, иногда совместно гидравлическим и гидродинамическим. Гид-

гидравлический метод применяется на месторождениях со сложными условиями, где из-за влияния водоотбора аналитическим путем невозможно осуществить прогноз изменения гидродинамической обстановки. К сложным относятся трещинно-жильные месторождения и месторождения артезианских бассейнов с неоднородными фильтрационными свойствами продуктивных водоносных горизонтов. На многих месторождениях артезианских бассейнов несложного строения, характеризующихся фильтрационной однородностью водоносных горизонтов, может успешно применяться гидродинамический метод. Основная задача разведки в этом случае сводится к определению расчетных параметров. Большое значение придается правильному выбору расчетной схемы, объективно отражающей природные гидрогеологические условия месторождения. Методика и последовательность выполнения расчетов освещены в работах Ф. М. Бочевера, Н. Н. Биндемана, С. С. Бондаренко, Б. В. Боревского и др.

Анализ материалов разведки ряда месторождений минеральных вод, результатов оценки их эксплуатационных запасов и многолетней эксплуатации этих месторождений свидетельствует о широком проявлении нестационарной фильтрации.

В связи с тем, что большинство месторождений характеризуется преимущественно сложными условиями формирования и локализации минеральных вод, единственным методом оценки их эксплуатационных запасов является гидравлический.

Сущность этого метода состоит в том, что расчетный дебит водозабора (или прогнозное понижение уровня в водозаборных скважинах) оценивается по эмпирическим данным, полученным в процессе проведения детальных опытно-фильтрационных работ или опыта эксплуатации. Полученные гидрогеологические данные косвенно, интегрированно учитывают все многообразие условий и факторов, участвующих в формировании ресурсов минеральных вод. Количественно оценить роль каждого из факторов в этих условиях очень трудно или невозможно.

Достоверная оценка запасов гидравлическим методом может быть обеспечена только на основе проведения гидрогеологического опробования при стационарном режиме, т. е. при достижении условий, когда наступает равновесное состояние между всеми факторами, участвующими в формировании минеральных вод. Применение гидравлического метода при неустановившемся режиме допускается только для оценки запасов минеральных вод месторождений крупных артезиан-

ских бассейнов с распространением продуктивных горизонтов на обширных площадях.

Категоризация промышленных запасов при оценке их гидравлическим методом устанавливается на основе продолжительности проведенных опытно-эксплуатационных откачек или выпусков и в зависимости от сложности месторождения. При этом эксплуатационные запасы обычно соответствуют расходу водозабора, полученному при проведении опытно-эксплуатационных откачек или выпусков. Последние должны быть непрерывными в течение всего срока опытно-эксплуатационного опробования с наблюдением за расходом, динамическим уровнем и составом минеральных вод, включая наблюдения за содержанием растворенных и спонтанных газов и температурой.

Поскольку опытно-эксплуатационные откачки проводятся в условиях стационарного режима (это основное требование), эксплуатационные запасы базируются только на материалах наблюдений по опытным скважинам и поэтому бурение наблюдательных скважин для определения гидродинамических параметров не проводится. Однако, как показал анализ большого фактического материала по опыту эксплуатации многих месторождений минеральных вод, опытно-эксплуатационное опробование в действительности далеко не всегда проводилось в условиях стационарного режима. Одновременно с проявлением нестационарного уровня режима, опытно-эксплуатационное опробование в отдельных случаях проводилось в условиях нестабильности гидрохимических показателей. Наблюдались изменение минерализации вод и снижение содержания биологически активных компонентов.

Причины квалификации нестационарного режима как установившегося при проведении откачек или выпусков могут быть связаны: с несовершенством технических средств регистрации уровня; с методическими ошибками при переходе от большого водоотбора к меньшему (на второй ступени откачки) на фоне повышения уровня; с недоучетом температурных поправок, поправок на облегчение столба дегазированной жидкости в стволе скважины; с влиянием газовых шапок, естественного режима и другие.

Поэтому в последние годы в методику оценки эксплуатационных запасов минеральных вод стали внедрять аналитические методы.

Достоверность оценки эксплуатационных запасов при нестационарном режиме обеспечивается объективной схематизацией гидрогеологических условий и надежным определением гидрогеологических параметров. Методика определе-

ния гидрогеологических параметров и способы схематизации продуктивного пласта в виде расчетных схем изложены в многочисленных методических руководствах Ф. М. Бочевера, Н. Н. Биндемана, С. С. Бондаренко, Г. С. Вартаняна, Л. А. Яроцкого, Б. В. Боревского, Р. Р. Арутюнянца и др.

Детальная разведка не завершает изучения месторождения минеральных вод. Учитывая сложный характер строения большинства месторождений, разнообразие процессов, участвующих в формировании минеральных вод, их состава и ресурсов, важное значение приобретают детальные исследования на стадии промышленной эксплуатации месторождения. С этой целью выполняется эксплуатационная разведка. В процессе эксплуатации организуют: стационарные наблюдения за режимом эксплуатации минеральных вод; изучение условий формирования депрессионной воронки на площади влияния водозаборного сооружения; изучение характера изменения качества минеральных вод в годовом и многолетнем разрезе; уточнение гидрогеологических параметров эксплуатационного водоносного горизонта; переоценку эксплуатационных запасов минеральных вод с переводом запасов низких категорий в более высокие; обоснование оптимального режима водоотбора с выявлением при необходимости возможности расширения водозабора; изучение процессов техногенного загрязнения минеральных вод и окружающей среды с целью разработки природоохранных мероприятий и др. Эксплуатационная разведка базируется в основном на результатах стационарных наблюдений за режимом эксплуатации минеральных вод, т. е. наблюдениях за дебитом водозаборных скважин и производительностью всего водозабора, наблюдениях за режимом уровня минеральных вод по наблюдательным и эксплуатационным скважинам, наблюдениях за химическим газовым и бактериологическим составом минеральных вод и их температурным режимом.

ОХРАНА МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИСТОЩЕНИЯ

Охрана природных богатств, среди которых особое место по своему экономическому и социальному значению занимают минеральные воды, является общегосударственной задачей. На базе их использования действует и успешно развивается в здравоохранении важная отрасль санаторно-курортного лечения и розлива минеральных лечебных вод.

Под термином «загрязнение» в современном понимании подразумевается неблагоприятное изменение качественных свойств элементов природной среды, вызванное антропогенной деятельностью. Загрязнение минеральных вод — это ухудшение их естественных свойств, изменение физико-химических и биологических показателей в результате антропогенного воздействия в количествах, превышающих способность среды к самоочищению, что делает эти воды частично или полностью непригодными для использования. Деятельность по охране минеральных вод от загрязнения и истощения обеспечивается, с одной стороны, юридической силой правовых норм и контролем за их соблюдением, с другой — научно-техническим прогрессом в области разработки, создания и внедрения эффективных природоохранных мероприятий. Первым директивным документом, определившим правовые нормы охраны минеральных вод как природных лечебных ресурсов, является декрет Совета Народных Комиссаров РСФСР «О лечебных местностях общегосударственного значения», подписанный В. И. Лениным в 1919 г. Правовые природоохранные основы заложены в Конституции СССР. Охрана курортов обеспечивается также Основами земельного и Основами водного законодательства СССР и союзных республик. Важным правовым документом является постановление ЦК КПСС, Совета Министров СССР и ВЦСПС «О мерах по дальнейшему улучшению санаторно-курортного лечения и отдыха трудящихся и развитию сети здравниц профсоюзов», принятое в 1982 г. Этим постановлением определены задачи охраны всех эксплуатационных месторождений минеральных вод с организацией округов санитарной охраны.

В СССР эксплуатируется более 500 месторождений минеральных вод [9]. Около 300 курортов базируются в

настоящее время на использовании минеральных вод. Многие из них очень быстро разрастаются. Из 35 курортов союзного значения 6 насчитывают от 100 до 300 тыс., 10 — от 50 до 100 тыс. жителей. Это «города-курорты» с промышленными объектами, часто не имеющими отношения к курортам, т. е. не связанные с их обслуживанием. Вокруг курортов развивается сельскохозяйственное производство с интенсивным применением удобрений и ядохимикатов. Объекты урбанизации прямо или косвенно воздействуют на окружающую среду, в том числе на минеральные воды. Масштабы техногенного воздействия резко возрастают — интенсивно начинают проявляться процессы загрязнения, часто исключительно ценных, уникальных природных лечебных источников, характеризующихся, как правило, ограниченными ресурсами. Поэтому задачи охраны минеральных вод от загрязнения приобретают исключительно важное значение.

Установлено, что защищенность минеральных вод от загрязнения зависит как от условий их формирования и распространения, гидрогеологического строения месторождения, так и от характера воздействующего источника загрязнения. При оценке защищенности месторождения должен учитываться и оцениваться источник загрязнения: промстоки поверхностного сброса, сельскохозяйственные стоки, закачки загрязняющих веществ в глубокие водоносные горизонты через скважины и другие горные выработки. Так, промышленные, бытовые и сельскохозяйственные стоки могут интенсивно загрязнять минеральные воды трещинно-жильных и трещинно-пластовых месторождений кристаллических шитов и массивов. В то же время порово-пластовые воды месторождений крупных артезианских бассейнов защищены от поверхностных источников загрязнения.

Существуют различные классификации источников загрязнения: по характеру поступления в подземные воды (непосредственная инфильтрация сточных вод, перетоки из смежных горизонтов, поступление из поглощающих горных выработок и др.); по масштабам загрязнения (локальные и региональные); по видам сооружений с их несовершенством технологических схем по аккумуляции и отводу загрязняющих веществ (ИСЕПА, США); по миграции загрязняющих веществ (конвективный перенос, путем молекулярной диффузии) и другие.

При оценке естественной защищенности месторождений минеральных вод целесообразно все источники химического, биологического, радиоактивного и других видов загрязнения подразделить на поверхностные и глубинные. К поверх-

ностным относятся поступления любых загрязнителей с поверхности земли или при непосредственной инфильтрации сточных вод из накопителей промпредприятий, загрязненных вод с полей орошения, бытовые сельскохозяйственные стоки и т. д. К глубинным — поступление загрязняющих веществ из смежных водоносных горизонтов путем перетока вод через гидрогеологические «окна», по затрубному пространству дефектных скважин или через маломощный слабопроницаемый пласт, а также при сбросе загрязняющих веществ в поглощающие горные выработки (скважины, шахты).

Охрана подземных минеральных вод требует в большинстве случаев выполнения комплекса мероприятий, имеющих цель не допустить загрязнения, обеспечить сохранение их качества для эффективного использования. Каждый источник загрязнения должен оцениваться по интенсивности своего возможного воздействия на изменение качества минеральной воды. Это требует определенных знаний гидрогеологических условий месторождения минеральных вод. При этом, если изменение качества подземных вод хозяйственно-питьевого назначения регламентируется определенными ПДК (предельно допустимые концентрации) и предельно допустимыми выбросами загрязняющих веществ, то к минеральным подземным водам требования должны быть более строгими. Даже поступление «чистых вод» может привести к заметному изменению качества минеральных вод и потере ими лечебных свойств. Охрана минеральных вод от загрязнения требует, как правило, решения общей проблемы охраны окружающей среды: 1) обеспечения строгого соблюдения законодательных актов по охране природной среды; 2) осуществления технических и технологических мер, направленных на ликвидацию источников загрязнения окружающей среды (утилизация и отвод загрязняющих промышленных, сельскохозяйственных и бытовых отходов, создание безотходного производства, предотвращение возможных утечек стоков).

Изучение и прогноз качества минеральных вод являются важной составной частью поисково-разведочных работ на месторождении. Эти исследования направлены на решение задач: 1) выявления и изучения существующих очагов и источников загрязнения; 2) изучения процессов миграции загрязняющих веществ и определения гидрогеологических параметров. Они выполняются для прогнозных оценок возможного изменения качества минеральных вод, гидрогеологического обоснования водоохраных мероприятий и организации контроля путем создания наблюдательной сети [5].

Любое месторождение минеральных вод оценивается прежде всего по условиям естественной защищенности от источников техногенного загрязнения.

10.1. Типизация месторождений минеральных вод по их естественной защищенности от загрязнения

Обоснование рациональных мер охраны минеральных вод для каждого типа месторождений должно основываться на учете особенностей их формирования, газового и химического состава, гидрогеологических условий. Установление закономерностей миграции загрязняющих веществ и взаимосвязи загрязнения минеральных вод с загрязнением окружающей природной среды является научной основой для эффективных мер охраны минеральных вод.

Типизация месторождений минеральных вод по их естественной защищенности от загрязнения была предложена И. А. Берри и М. А. Кашиной. Основана она на критериях оценки разработанных Н. В. Роговской с выделением трех групп месторождений подземных вод: надежно защищенных, слабо защищенных и незащищенных. Степень защищенности определяется глубиной залегания водоносного горизонта и его мощностью. При общем правильном геолого-структурном подходе к оценке естественной защищенности месторождений минеральных вод от загрязнения в предложенной типизации не нашли отражение многие особенности воздействия различных факторов загрязнения. Некорректными являются определения «слабо» или «надежно» защищенные месторождения. Выделение «слабо» защищенных месторождений вносит неопределенность.

Г. В. Куликов и А. В. Жевлаков предложили подразделять месторождения минеральных вод по естественной защищенности от загрязнения на две категории (табл. 10.1): I — защищенные от загрязнения; II — незащищенные от загрязнения. Одновременно незащищенные от загрязнения месторождения минеральных вод подразделяются на 3 группы: незащищенные от любых источников загрязнения; незащищенные от поверхностных источников загрязнения и незащищенные от глубинных источников загрязнения.

К категории природно защищенных от загрязнения относятся месторождения фумарольных и углекислых вод глубинного формирования вулканических, вулканогенно-осадочных и метаморфических пород областей современного вулканизма и месторождения хлоридных бромных вод и рас-

Таблица 10.1

Категории природной защищенности минеральных вод от загрязнения (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Категории природной защищенности	Типы месторождений минеральных вод	Основные месторождения, источники и скважины минеральных вод
I. Защищенные от загрязнения	Трещинно-жильные и трещинно-пластовые фумарольных и углекислых вод глубинного формирования вулканогенных, вулканогенно-осадочных и метаморфических пород областей современного вулканизма	Кислый Ключ, Нижне-Менделеевский, Узонские, Гейзерные
II. Незащищенные от загрязнения	Порово-пластовые и трещинно-пластовые хлоридных бромных вод и рассолов соленосных бассейнов платформ и межгорных впадин горно-складчатых областей	Любим, Солигалич, Рязск, Усолье, Чартак
I. Незащищенные от любых источников загрязнения	Порово-пластовые и трещинно-пластовые радоновых и железистых вод угленосных и пестроцветных отложений впадин и прогибов	Прикамье, Мосбасс, Донбасс, Минусинская котловина
I. Незащищенные от любых источников загрязнения	Порово-пластовые и трещинно-пластовые сероводородных вод приповерхностного формирования в терригенно-карбонатных отложениях впадин	Кемери, Хилово, Краинка, Сергиевские минводы
I. Незащищенные от любых источников загрязнения	Порово-пластовые и трещинно-пластовые углекислых, железистых, кремнистых, радоновых вод осадочных и эффузивно-осадочных отложений впадин областей мезозойско-кайнозойской активизации	Джеты-Огуз, Нагорное, Ласточка, Ямкун
I. Незащищенные от любых источников загрязнения	Порово-пластовые и трещинно-пластовые углекислых, железистых, кремнистых и радоновых вод эффузивно-осадочных и осадочных отложений краевых прогибов и впадин молодых горно-складчатых областей	КМВ, Цхалтубо, Боржоми, Саирме, Гукасян

Продолжение табл. 10.1

Категории природной защищенности	Типы месторождений минеральных вод	Основные месторождения, источники и скважины минеральных вод
	<p>Порово-пластовые и трещинно-пластовые углекислых и кремнистых вод вулканогенно-осадочных и осадочных отложений впадин областей современного вулканизма</p> <p>Порово-пластовые и трещинно-пластовые вод, обогащенных органическим веществом (типа «Нафтуса»), терригенных и терригенно-карбонатных отложений прогибов и впадин</p>	<p>Паратунское, Малкинское</p> <p>Нафтуса, Збручаны</p>
<p>2. Незащищенные от поверхностных источников загрязнения</p>	<p>Трещинно-жильные и трещинно-пластовые радоновых и железистых вод кристаллических щитов и массивов древних платформ и горноскладчатых областей</p> <p>Трещинно-жильные и трещинно-пластовые углекислых, железистых, радоновых и кремнистых вод массивов изверженных и метаморфических пород молодых горноскладчатых областей и участков мезозойско-кайнозойской активизации платформ и орогенов</p>	<p>Новохмельник, Мирановка, Хапунвара, Марциальные воды, Увильды, Колыванское</p> <p>Шаян, Анкаван, Молоковка, Урчуган, Дарасун, Нерчинский, Мерке, Ак-су, Шмаковка</p>
	<p>Трещинно-жильные и трещинно-пластовые фумарольных и углекислых вод приповерхностного формирования вулканогенных, вулканогенно-осадочных и метаморфических пород областей современного вулканизма</p>	<p>Верхне-Семячинское, Заповедные Ключи, Кошелевские, Сернозаводские</p>
	<p>Порово-пластовые и трещинно-пластовые радоновых вод торфяников на кристаллических щитах и массивах</p>	<p>Карелия</p>

Продолжение табл. 10.1

Категории природной защищенности	Типы месторождений минеральных вод	Основные месторождения, источники и скважины минеральных вод
	Порово-пластовые и трещинно-пластовые радоновых вод травертиновых Порово-пластовые и трещинно-пластовые иодных хлоридных, натриевых вод аллювиальных и морских отложений прибрежных участков	Пятигорск I (источники Теплосерные, Академические) Лапоминка
3. Незащищенные от глубинных источников загрязнения	Порово-пластовые и трещинно-пластовые сероводородных, иодобромных, кремнистых и хлоридных вод нефтегазоносных бассейнов платформ и межгорных впадин древних горно-складчатых областей	Усть-Качка, Ключи, Краснокамск, Тюмень, Тобольск, Чимион
	Порово-пластовые и трещинно-пластовые сероводородных, иодобромных, кремнистых вод нефтегазоносных бассейнов краевых прогибов и межгорных впадин молодых горно-складчатых областей	Ходыженск, Новая Мацеста, Таминск, Челекен

слов соленосных бассейнов платформ и межгорных впадин горно-складчатых областей.

Многие месторождения наиболее ценных и широко используемых минеральных вод являются незащищенными как от поверхностных, так и от глубинных источников загрязнения: радоновых и железистых вод угленосных и пестроцветных отложений впадин и прогибов; сероводородных вод приповерхностного формирования в терригенно-карбонатных отложениях впадин; углекислых, железистых, кремнистых, радоновых вод осадочных и эффузивно-осадочных отложений впадин областей мезозой-кайнозойской активизации; эффузивно-осадочных и осадочных отложений краевых прогибов и впадин молодых горно-складчатых областей; углекислых и кремнистых вод вулканогенно-осадочных отложений впадин областей современного вулканизма и вод,

обогащенных органическим веществом (типа «Нафтуса»). Эта обширная группа месторождений наиболее подвержена загрязнению и требует максимального внимания к осуществлению охранных мероприятий.

Незащищенными от поверхностных источников загрязнения являются следующие месторождения: радоновых и железистых вод кристаллических щитов и массивов древних платформ и орогенов; углекислых, железистых, радоновых и кремнистых вод массивов изверженных и метаморфических пород молодых горно-складчатых областей и участков мезозой-кайнозойской активизации платформ и орогенов; радоновых вод торфяников на кристаллических щитах и массивах и радоновых вод травертинов, а также иодных хлоридных вод аллювиальных и морских отложений прибрежных участков. Эта группа месторождений минеральных вод требует защитных мероприятий от поверхностного загрязнения.

Загрязнение минеральных вод месторождений, незащищенных от любых, в том числе и от поверхностных источников загрязнения (см. табл. 10.1), непосредственно связано с загрязнением поверхностных вод, атмосферных осадков и почв. Важное значение в этих условиях приобретает изучение строения зоны аэрации (литология и фильтрационные свойства пород).

Изучение условий возможного загрязнения минеральных вод этой категории месторождений начинается с анализа техногенной ситуации на поверхности: установления характера, местоположения фактических и потенциальных источников загрязнения. Степень защищенности минеральных вод тех месторождений, где отсутствуют надежные перекрывающие водоупоры, в определенной мере зависит от глубины залегания их уровня, хотя значение этого показателя невелико. Однако, когда минеральные воды обладают напорностью и уровни их устанавливаются значительно выше источников поверхностного загрязнения, проникновение загрязняющих веществ становится затруднительным или невозможным.

Месторождения сероводородных, йодобромных, кремнистых и хлоридных вод нефтегазоносных бассейнов имеют, как правило, мощные перекрывающие водоупоры, являющиеся надежными естественными преградами от поверхностного загрязнения и могут быть загрязнены только глубинными источниками загрязнения.

Минеральные воды месторождений II.3 категории защищены от поверхностных источников загрязнения надежными

водоупорами. Загрязнение их может произойти только при поступлении загрязняющих веществ через горные выработки, перетоке вод из смежных горизонтов. Поэтому они обследуются лишь с целью выявления существующих и проектируемых источников глубинного загрязнения. В связи с этим охранные мероприятия должны исключить возможные поступления загрязняющих веществ через поглощающие скважины или другие горные выработки, за счет латерального подтока или подтока из смежных горизонтов некондиционных вод при нефтегазодобыче и эксплуатации минеральных вод. Так, в Грозненском районе в процессе эксплуатации нефтяных месторождений произошло «подтягивание» фронта законтурных минеральных вод и их откачка через нефтепромысловые скважины. В результате прекратили существование отдельные Серноводские и Горячеисточненские целебные источники.

10.2. Типизация месторождений минеральных вод по их естественной защищенности от истощения

Истощение ресурсов минеральных вод происходит в тех случаях, когда их отбор на месторождении превышает величину естественного восполнения. Вместе с тем, истощение ресурсов минеральных вод может происходить не только при их чрезмерном водоотборе, но и в результате интенсивной эксплуатации подземных вод (не минеральных) гидравлически связанных с минеральными, или при региональном дренировании подземной гидросферы (горные карьеры, шахты). Началом истощения считается уменьшение дебита и падение уровня, изменение качества (физико-химических показателей) минеральных вод ниже установленных пределов.

В настоящее время на ряде крупных месторождений наблюдается дефицит минеральных вод, связанный с превышением их отбора над величиной эксплуатационных запасов (КМВ). Заметное снижение уровней минеральных вод наблюдается в Московском артезианском бассейне в результате действия многочисленных водозаборов пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения. При строительстве Северо-Муйского тоннеля на БАМе были срединированы в зоне тектонических разломов ресурсы кремнистых термальных вод. Отмечаются случаи бесполезного фонтанирования многочисленных скважин, изливающих рассолы, термальные, радоновые и даже углекислые воды (Донецкий бассейн, Средняя Азия, Сибирь и другие районы).

Охрана минеральных вод от истощения требует осуществления мероприятий по управлению рациональной эксплуатацией всех видов подземных вод в районе (хозяйственным водоснабжением, шахтным водоотливом, всевозможными дренажными сооружениями). Такой подход является единственно правильным, когда на формирование состава и ресурсов минеральных вод воздействуют различные техногенные факторы.

Каждое месторождение, исходя из особенностей формирования и распространения минеральных вод, геологического строения, гидрогеологических условий, характеризуется той или иной степенью защищенности от истощения при нерациональной эксплуатации или под воздействием внешних техногенных факторов (крупные водозаборы, шахтный водоотлив, гидротехнические сооружения и др.). Все типы месторождений минеральных вод по подверженности процессам истощения подразделяются на три категории (табл. 10.2).

Месторождения I категории характеризуются условиями незащищенности от истощения как при нерациональной их эксплуатации, так и при воздействии внешних техногенных факторов. Минеральные воды таких месторождений имеют локальное распространение и ресурсы их ограничены (дебиты скважин редко достигают нескольких литров в секунду).

Месторождения II категории являются защищенными от внешних факторов техногенного воздействия и истощение их происходит только в результате нерациональной эксплуатации (чрезмерного водоотбора). Месторождения III категории не подвержены истощению и не требуют проведения мероприятий для их охраны. Разработанные категоризации месторождений минеральных вод по их естественной защищенности от загрязнения и истощения дают возможность на стадии начального изучения любого месторождения определить основные водоохранные мероприятия и наметить дальнейшие исследования для обоснования зон санитарной охраны.

Охрана минеральных вод, эксплуатируемых курортно-рекреационными комплексами, заключается либо в охране всего локального месторождения, либо отдельных участков крупных региональных месторождений. Охране подлежат: естественные и искусственно созданные очаги разгрузки минеральных вод (водозаборы); участки неглубокого развития минеральных вод и участки, где установлена гидравлическая связь минеральных вод с водами других горизонтов или поверхностными водами; области питания и формирования минеральных вод.

Категории месторождений минеральных вод по их защищенности от истощения (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

I. Месторождения, не защищенные от истощения при нерациональной эксплуатации и под воздействием внешних техногенных факторов	II. Месторождения, не защищенные от истощения при нерациональной эксплуатации	III. Месторождения слабо защищенные или не подверженные истощению
<p>Трещинно-жилые и трещинно-пластовые:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) радиовых и железистых вод кристаллических щитов и массивов древних платформ и орогенов; 2) углекислых вод и кремнистых терм массивов изнерженных и метаморфических; пород платформ и орогенов, затронутых мезокайнозойской тектоно-магматической активизацией, и молодых горно-складчатых областей; 3) радиовых вод массивов изверженных и метаморфических пород ледовых горно-складчатых областей <p>Порово-пластовые и трещинно-пластовые:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) радиовых и железистых вод угленосных бассейнов платформ и межгорных впадин; 2) радиовых и железистых вод нестроцетных отложений впадин платформ и орогенов; 3) радиовых вод торфяников на кристаллических щитах и массивах; 4) углекислых, радиовых вод и кремнистых терм осадочных и эффузивно-осадочных пород впадин платформ и орогенов мезокайнозойской затронутых тектоно-магматической активизацией и молодых горно-складчатых областей; 5) углекислых вод и кремнистых терм вулканогенно-осадочных пород межгорных впадин областей современного вулканизма 	<p>Порово-пластовые и трещинно-пластовые:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) сероводородных вод трещинно-пластовых и межгорных бассейнов; 2) сероводородных и йодобромных вод эффузивно-осадочных и осадочных пород краевых прогибов и впадин молодых горно-складчатых областей; 	<p>Трещинно-жилые и трещинно-пластовые:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) фумарольных сульфатарных, кремнистых и углекислых вод вулканогенных, вулканогенно-осадочных и метаморфических пород областей современного вулканизма <p>Порово-пластовые и трещинно-пластовые:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) йодобромных и хлоридных натриевых вод трещинно-карбонатных отложений неугленосных бассейнов платформ и межгорных впадин; 2) хлоридных натриевых и борных вод осадочных бассейнов платформ и межгорных впадин; 3) сульфатных, хлоридных натриевых вод трещинно-карбонатных отложений впадин платформ и горно-складчатых областей

Все месторождения минеральных вод по степени сложности охраны и защиты от истощения подразделены на 3 группы: 1) месторождения трещинного и трещинно-жильного типов, на площади которых довольно сложно установить и количественно оценить с доступной достоверностью источники формирования минеральных вод; 2) месторождения пластового типа, на площади которых относительно достоверно можно оценить источники формирования минеральных вод; 3) месторождения гидроинжекционного типа, формирование ресурсов которых управляется сложными соотношениями напоров двух и более водоносных систем.

Мероприятия по защите минеральных вод от истощения на месторождениях I группы основываются на данных длительных опытных откачек (выпусков) при их разведке и эксплуатации. Гидродинамический метод защиты месторождений 2 группы с простыми гидрогеологическими условиями базируется на аналитических расчетах, а со сложными условиями — на результатах математического моделирования. Третья группа месторождений требует наиболее детальных исследований.

10.3. Основные виды водоохранных мероприятий

Кроме строгого соблюдения законодательных положений, общих технических и технологических мер, направленных на охрану природной среды в целом, проводятся водоохранные профилактические и специальные мероприятия по охране минеральных лечебных вод.

К профилактическим водоохранным мероприятиям относятся: систематический контроль за качеством минеральных вод и проявлением процессов их загрязнения, оценка масштаба и прогноз развития очагов загрязнения; гидрогеологическое обоснование схем размещения промышленных, сельскохозяйственных, гидротехнических и других объектов в районе месторождения минеральных вод с тем, чтобы не допустить их загрязняющего воздействия на окружающую среду и минеральные воды; выявление и учет существующих и потенциальных источников загрязнения; ликвидация бездействующих скважин и перевод на крановый режим самоизливающихся скважин; создание сети наблюдательных скважин для контроля за загрязнением минеральных вод. На основании осуществления профилактических мероприятий, учета результатов наблюдений за уровнем загрязнения минеральных вод и гидрогеологических прогнозов раз-

вития очагов загрязнения разрабатываются специальные защитные водоохранные меры. Следует отметить, что защитные меры по ликвидации уже существующих очагов загрязнения являются, как правило, продолжительными во времени и требуют больших затрат. Поэтому первостепенное значение приобретают профилактические мероприятия, направленные на предупреждение и недопущение загрязнения минеральных вод.

Для естественно защищенных месторождений возможен даже отказ от организации водоохранных мероприятий. Охрана минеральных вод природно незащищенных месторождений часто требует осуществления широкого комплекса санитарно-оздоровительных мероприятий. Природная защищенность минеральных вод одного и того же месторождения (водоносного горизонта) может быть различной для различных видов загрязнителей и зависит от интенсивности и характера поступления загрязняющих веществ.

Методы определения путей миграции техногенных загрязнителей в минеральные воды разработаны еще слабо. Поэтому важное значение для их охраны приобретает создание на месторождениях санитарных зон с различной степенью ограничений: 1) строгого режима; 2) ограничений; 3) наблюдений.

Первая зона включает ограниченные по площади участки, на которых находятся естественные и искусственные выходы минеральных вод (водозаборы). Вторая зона охватывает территорию, с которой происходит сток поверхностных и подземных вод к месторождению минеральных вод, включая территорию санаторно-курортного учреждения. Третья зона охватывает область питания и формирования минеральных вод. Вообще на курортно-рекреационных объектах создаются единые округа санитарной охраны с целью предупреждения возможного химического и микробиологического загрязнения минеральных вод, лечебных грязей, почв, атмосферного воздуха и других природных факторов. Округа и зоны способствуют сохранению физических, химических, санитарных и лечебных свойств, имеющих на курортах, природных факторов. Границы охраняемой территории и содержание особого режима в каждой зоне с целью охраны лечебных природных факторов определяются на основе анализа гидрогеологических, ландшафтно-климатических условий, экологической обстановки с учетом существующих и проектируемых источников возможного загрязнения и перспектив развития курортно-рекреационного комплекса. Методика разработки округа горно-санитарной охраны курортно-рекреационного

комплекса освещена в многочисленной литературе и инструктивных документах.

Основными направлениями в охране минеральных вод от истощения являются рациональное использование их ресурсов и постоянный контроль с целью недопущения дренажного влияния на месторождение минеральных вод со стороны водозаборов, эксплуатирующих неминеральные воды шахтным водоотливом, нефтегазопромыслами и другими объектами. Проводится ликвидация изливающихся и не используемых скважин. Если минеральным водам грозит истощение, принимают оперативные меры по ограничению водозабора. Задачи охраны минеральных вод от истощения требуют обязательной оценки их эксплуатационных запасов и строгого соблюдения установленного режима работы водозабора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адилов В. Б., Ермилин В. И., Хабаровская М. В.* К вопросу о закономерностях распространения лечебных минеральных вод на малоизученных территориях Среднеазиатского региона.— В кн.: Минеральные воды и лечебные грязи, условия их формирования и ресурсы. М., 1987, с. 28—38.
2. *Барабанов Л. Н., Дислер В. Н.* Азотные слабоминерализованные термы.— В кн.: Гидрогеология и геохимия лечебных минеральных вод. М., 1981, с. 44—62.
3. *Браунлоу А. Х.* Геохимия. М., Недра, 1984.
4. *Вовк И. Ф., Онищенко И. П.* Борные воды Закарпатья.— Геологический журнал, Киев, № 5, с. 55—60.
5. *Гольдберг В. М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М., Недра, 1984.
6. *Зайцев И. К.* Гидрогеохимия СССР. Л., Недра, 1986.
7. *Иванов В. В.* Основные критерии оценки химического состава минеральных вод. М., Центросоветкурорт, 1982.
8. *Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям лечебных минеральных вод.* М., ГКЗ СССР, 1984.
9. *Кадастр минеральных вод СССР.* М., Центросоветкурорт, 1987.
10. *Карасева А. П.* Железистые воды.— В кн.: Гидрогеология и геохимия лечебных минеральных вод. М., ЦНИИКиФ, 1981, с. 78—91.
11. *Карасева А. П.* Мышьякособержащие воды.— В кн.: Гидрогеология и геохимия лечебных минеральных вод. М., ЦНИИКиФ, с. 92—109.
12. *Кирюхин В. Е., Швец В. М.* Процессы формирования иодных вод. М., Недра, 1980.
13. *Крайнов С. Р., Швец В. М.* Основы геохимии подземных вод. М., Недра, 1980.
14. *Куликов Г. В., Адилов В. Б., Жевлаков А. В.* Районирование минеральных вод СССР.— Бюлл. МОИП, отд. геол., 1987, т. 62, вып. 3, с. 100—105.
15. *Курорты.* Энциклопедический словарь/Под ред. Е. И. Чазова. М., Советская энциклопедия, 1983.
16. *Курс рудных месторождений/В. И. Смирнов, А. И. Гинзбург, В. М. Григорьев и др.* М., Недра, 1986.
17. *Лечебные минеральные воды типа «Нафтуса»/А. Е. Бабинец, В. М. Шестопапов, Н. П. Моисеева и др.* Киев, Наукова думка, 1986.
18. *Олефиренко В. Т.* Водолечение. М., Медицина, 1986.
19. *Основные черты геологического строения и развития Средиземноморского складчатого пояса в пределах СССР/Е. Е. Миляновский, В. Е. Ханн, О. С. Вялов и др.— В кн.: Доклады XXVII сессии МГК, т. 1.* М., Наука, 1984, с. 78—93.
20. *Основы региональной геологии СССР/В. М. Цейслер, В. Б. Караулов, Е. А. Успенская и др.* М., Недра, 1984.
21. *Плотникова Г. Н.* Сульфидные воды.— В кн.: Гидрогеология и геохимия лечебных минеральных вод. М., ЦНИИКиФ, 1981, с. 5—30.

22. *Подземные минеральные воды Казахстана*. Алма-Ата, Наука, 1984.
23. *Промышленные типы урановых месторождений и методика их поисков*/Ю. М. Шувалов, С. В. Бузовкин, А. В. Бульчев и др. Л., Недра, 1984.
24. *Ривман О. И., Адилов В. Б.* Типизация месторождений минеральных вод межгорных впадин Средней Азии для обоснования методов их разведки.— В кн.: Вопросы изучения минеральных вод, грязей и климата. М., ЦНИИКиФ, 1980, т. XIII, с. 8—17.
25. *Смирнов В. И.* Геология полезных ископаемых. М., Недра, 1989.
26. *Тектоника Средиземноморского пояса*/Под ред. М. В. Муратова, А. Л. Яншина. М., Недра, 1980.
27. *Титова Е. А., Фомичева В. Н.* Воды, воздействующие физическими свойствами и ионным составом.— В кн.: Вопросы изучения лечебных минеральных вод, грязей и климата. М., ЦНИИКиФ, 1980, с. 41—63.
28. *Углекислые воды СССР*. Состав, формирование, ресурсы. Вып. II. М., Тр. ЦНИИКиФ, т. XIV, 1980, 156 с.
29. *Файф У., Прайс Н., Томпсон А.* Флюиды в земной коре. М., Мир, 1981.
30. *Хаин В. Е.* Основные черты геологической эволюции земной коры в пределах СССР.— Геология и разведка, 1987, № 7, с. 3—20.
31. *Халатян Э. С.* Распределение бора в минеральных водах Армянской ССР. Ереван, АН Арм.ССР, 1980.
32. *Язвин Л. С., Коноплянцев А. А.* Рациональное использование подземных вод.— В сб.: Гидрогеология. Секция 16, Докл. 27 МГК т. 16. М., Наука, 1984, с. 85—92.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЛЕЧЕБНОМУ (ВНУТРЕННЕМУ)
ПРИМЕНЕНИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД (ГОСТ 13273—88)**

Название воды	Медицинские показания к применению
Авадхара	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7; 8
Азовская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Айвазовская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Ак-Су (скв. 6, 12)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Алмасы	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Алма-Атинская (Курамский источник)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 7
Амурская (Гонжа)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Анапская (скв. 3 м)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Ангарская	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Анивская № 1 (скв. 8 А-бис)	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Анкаван	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Арашан	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Арабат	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Арзни	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Аршан № 6	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Аршан (скв. 35)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Ачалуки	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Ашхабадская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Багиати	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Бадамлы № 4	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Бжни	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7; 8
Бируте	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Болниси	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Боржоми	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Буйская	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Буркут	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Важас-Цхаро (скв. 10)	1.1; 1.2; 1.3; 4; 5; 6
Вайхир	1.1; 1.3; 4; 5; 6; 8
Валмиерская	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Вардзия (скв. 1, 2к)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Варницкая	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Великобагачанская	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Витаутас	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Вярска № 1	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 7
Вярска № 2	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Геленджикская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Гоголевская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Горячий ключ № 1	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Горячий ключ № 2	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Дарасун	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Джава (скв. 14а)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Джалал-Абадская (скв. 27)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Джермук	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7; 8
Дилижан	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Доломитный нарзан (скв. 7,5/0)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Дон	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7

Продолжение прилож. I

Название воды	Медицинские показания к применению
Драговская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6
Друскининкай	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Ергенинская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6
Эссенуки № 4	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Эссенуки № 17	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6
Зарамаг	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Зваре	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Золотой колодец	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Золочевская	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Ижевская (Шифалы-Су № 14)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Иркутская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Исти-Су Верхний	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Исти-Су Нижний	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Казанская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Казбеги	1.1; 1.2; 3; 4; 5; 6; 7
Калининградская № 1	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Каратаг (скв. 4—11)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Карачинская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Каспий (скв. 215)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Кашинская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Кибрайская (скв. 13-бис)	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Кишиневская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Кожановская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Краинская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Кришталева	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Крымская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Кука	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Куяльник	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Лазаревская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6
Ласточка	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Ликенайская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6
Липецкая	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Личк	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Луганская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Лугела	1.3
Лужанская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Лысогорская	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4
Майкопская (скв. 6030, 46602)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Малкинская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Марциальная	8
Махачкала (скв. 160)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Машук № 1	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Машук № 19	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Минская № 3, 4	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Миргородская	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Митарби	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Московская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Набеглави	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Нальчик	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7

Продолжение прилож. 1

Название воды	Медицинские показания к применению
Нарзан (Кисловодский, скв. 5/04 и 5/0-бис)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Нафтуса	7
Нелепинская	1.1; 1.2; 3; 4; 5; 7
Нижне-Ивкинская № 1	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Нижне-Ивкинская № 2-к (скв. 2-к)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Нижне-Сергинская	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Нижний Кармадон (скв. 29-р)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 5; 6; 7
Ново-Ижевская (скв. 1/71)	1.1; 1.3; 3; 4
Нукусская	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Обуховская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Олеская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Омская № 1	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Острожская	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Плосковская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Полеская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Полюстрово	8
Поляна Квасова	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Поляна Купель	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Ростовская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Рычал-Су	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Саирме (скв. 3, 8)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Самаркандская	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Сахалинская (скв. 6-А-бис)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Севан (скв. 2)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Семигорская № 1 (скв. 3Э, 4Э)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Семигорская № 6 (скв. 6-Э)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Серноводская (скв. 1)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Синегорская (скв. 16, 17)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Сираб № 12	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Скури	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Славяновская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Смирновская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Смоленская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Снегиревская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Солуки	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Сочинская (скв. 2-рм)	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6
Сольвыгодская (скв. 4)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Сульфатный нарзан (скв. 8)	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6
Талицкая	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Ташкентская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Теберда	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Тернопольская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Терсинка	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Турш-Су	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Тюменская (Тараскуль)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Углицкая	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 7
Урс-Дон	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7

Продолжение прилож. I

Название воды	Медицинские показания к применению
Уфимская	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Уцера	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 7
Феодосийская (скв. 8, 9)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Хаватаг (скв. 6-р)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Хиловская (скв. 1/59)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Ходыженская (скв. 503)	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Царичанская	1.1; 1.3; 3; 4; 5; 6; 7
Чартакская (скв. 32)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5; 6
Челкарская	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Шаамбары (скв. 1-к)	1.1; 1.2; 1.3; 3; 4; 5
Шамаковка	1.1; 1.2; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8
Эльбрус	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7
Юрмала (скв. «Бастия»)	1.1; 1.2; 1.3; 2; 3; 4; 5; 6; 7

Примечания. I. Арабскими цифрами обозначены следующие заболевания: 1.1—1.3 — хронические гастриты (1.1 — с нормальной секреторной функцией желудка, 1.2 — с повышенной секреторной функцией желудка, 1.3 — с пониженной секреторной функцией желудка); 2 — несложная язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, болезни оперированного желудка по поводу язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки; 3 — хронические колиты и энтероколиты; 4 — хронические заболевания печени и желчевыводящих путей: гепатиты, холециститы; ангиохолиты различной этиологии без склонности к частым обострениям, холецистит калькулезный, за исключением форм, осложненных инфекциями и частыми обострениями, а также требующих оперативного вмешательства; постхолецистэктомический синдром; 5 — хронические панкреатиты; 6 — болезни обмена веществ: сахарный диабет, ожирение, подагра, мочекислый диатез, оксалурия, фосфатурия; 7 — хронические заболевания мочевыводящих путей; 8 — железодефицитные анемии.

II. Минеральные воды применяются при вышеуказанных заболеваниях лишь вне фазы обострения.

III. На этикетку выносятся только обобщающие показания по лечебному применению минеральных вод.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

МЕДИЦИНСКИЕ ПОКАЗАНИЯ ПО НАРУЖНОМУ ПРИМЕНЕНИЮ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД

1. БОЛЕЗНИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

1. Первичный или возвратный эндомиокардит затяжного или латентного течения неактивный или с минимальной степенью активности процесса недостаточности кровообращения не выше I степени.

2. Состояние после перенесенного ревматического или инфекционно-аллергического миокардита через 6—8 мес после исчезновения клинико-лабораторных признаков активности процесса при недостаточности кровообращения не выше I степени.

3. Пороки сердца — недостаточность митрального клапана или недостаточность митрального клапана и стеноз левого венозного отверстия (без преобладания стеноза) через 6—7 мес после окончания острых явлений при недостаточности кровообращения не выше I степени.

4. Состояние после комиссуротомии по поводу митрального стеноза через 6—8 мес после операции при общем удовлетворительном состоянии и при недостаточности кровообращения не выше I степени.

5. Врожденные пороки сердца без признаков эндокардита при недостаточности кровообращения не выше I степени.

6. Хроническая ишемическая болезнь сердца. Атеросклероз коронарных артерий с редкими нетяжелыми приступами стенокардии после значительного физического напряжения, без патологических изменений ЭКГ, с недостаточностью кровообращения не выше I степени.

7. Кардиосклероз атеросклеротический с редкими нетяжелыми приступами стенокардии или без них, без нарушения сердечного ритма при недостаточности кровообращения не выше I степени.

8. Кардиосклероз после перенесенного инфаркта миокарда давность более года или с редкими нетяжелыми приступами, с восстановленной работоспособностью, без сопутствующей артериальной гипертонии, без нарушения ритма и проводимости при недостаточности кровообращения не выше I степени.

Состояние после хирургического лечения по поводу ишемической болезни сердца, после выписки из стационара более года, при недостаточности кровообращения не выше I степени при общем удовлетворительном состоянии.

9. Гипертоническая болезнь с медленно прогрессирующим течением без сосудистых кризов и выраженного склероза (I и II стадий. А), без расстройств ритма и проводимости при недостаточности кровообращения не выше I степени.

10. Гипертоническая болезнь II Б степени (рекомендуются ручные и, или, ножные ванны) без выраженного атеросклероза сосудов мозга, сердца и почек.

11. Артериальная гипотония.

12. Облитерирующий атеросклероз сосудов конечностей и терминального отдела брюшной аорты при отсутствии язв, гангрены и прогрессирующей ишемии конечностей после операции на артериях: при эндартерэктомии, тромбонитмэктомии без язв и гангрены

и постоянных болей при общем удовлетворительном состоянии процедуры назначают через 6—8 недель; после протезирования при восстановленном магистральном кровотоке больным можно назначать процедуры не ранее, чем через 6—8 недель после операции, с ретромбозом — через 3—4 недели после операции при I условии компенсированного периферического кровообращения конечностей.

13. Облитерирующий тромбангиит, эндартериит с нарушением кровообращения конечностей I и II степени, только в период ремиссии, без склонности к генерализации тромботического процесса, мигрирующего тромбофлебита, обострений, выраженных вазомоторных расстройств (стойкий цианоз, свежие изъязвления) изменений крови — ускоренная СОЭ, лейкоцитоз.

14. Остаточные явления после флебита, тромбофлебита нижних конечностей по окончании острых и подострых явлений. Процедуры назначают: а) для поверхностных вен — не ранее, чем через 2 мес; б) для глубоких вен — не ранее, чем через 4 мес.

15. Венозная недостаточность после тромбофлебита, сопровождающаяся трофическими изменениями кожи голени (язвы, инфильтраты).

16. Хроническая венозная недостаточность, возникшая на почве варикозной болезни, в стадии компенсации и субкомпенсации, а также отечно-индуративной формы.

17. Мезаортит, порок сердца и другие сифилитические поражения сердечно-сосудистой системы с недостаточностью кровообращения не выше I степени без приступов стенокардии и без аневризмы аорты после специфического лечения.

II. БОЛЕЗНИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Болезни и последствия травм периферической нервной системы

1. Радикулиты, радикулоневриты различной локализации: дискогенного, токсического, инфекционно-аллергического происхождения в стадии неполной ремиссии и при хроническом течении.

2. Полиневрит, полирадикулит, плексит, невриты: лицевого, тройничного нерва, плечевого сплетения, отдельных нервов конечностей — инфекционный, токсический по окончании острого периода и др. Неврофибромиозит.

3. Вегетативные полиневриты, солляриты, симпатические ганглиотрунциты по окончании острого периода; профессиональные, ангиоспатические, сегментарно-вегетативные синдромы.

4. Травмы корешков, сплетений, нервных стволов, не требующие хирургического вмешательства и после него при наличии признаков восстановления функций.

Болезни и последствия травм центральной нервной системы

5. Менингоэнцефаломиелит, энцефалиты, включая дисэнцефалиты с редкими пароксизмами, арахноидиты; энцефаломиелиты не ранее 3 мес по окончании острого периода при наличии продолжающегося восстановления функций.

6. Отдаленные последствия травм головного мозга: открытых — через 5—6 мес, закрытых — через 4 мес, не сопровождающиеся

резкими нарушениями в двигательной сфере и частыми эпилептиформными припадками (не более 1—2 раза в год) и выраженными психическими нарушениями.

7. Последствия травм спинного мозга, его оболочек и конского хвоста: кровоизлияний в спинной мозг — через 3 мес, а также после операций различной локализации — через 1 мес; удаление экстремедулярных доброкачественных опухолей спинного мозга (невринома, арахноэндотелиом) — через 4 мес; после дискэктомии и переднего спондилодеза — через 6 мес после операции.

8. Миелит — через 4 мес после острого периода.

9. Атеросклероз сосудов головного мозга I—II степени (по Н. К. Боголепову).

10. Последствия нарушения мозгового кровообращения: а) через 2—3 мес после преходящего нарушения мозгового кровообращения; б) через 4—6 мес после субарахноидального кровоизлияния, кровоизлияния в мозг, эмболии мозговых сосудов.

11. Полимиелит в восстановительном и резидуальном периодах, а также после ортопедических операций (артродез, пересадка мышц).

12. Сухота спинного мозга без выраженной атаксии и кахексии.

13. Рассеянный склероз, нерезко выраженные формы без значительного нарушения движения.

14. Паркинсонизм атеросклеротический, постэнцефалитический, посттравматический, интоксикационный. Дрожательная акинетикорегидная форма легкой и средней тяжести при возможности самостоятельного передвижения и обслуживания в возрасте до 60 лет.

15. Сирингомиелиит переднероговая, заднероговая и смешанная формы, грудной и поясничной локализации легкой и средней тяжести при возможности самостоятельного передвижения в возрасте до 60 лет.

16. Шейная, грудная, поясничная ишемическая миелопатия.

Функциональные и другие болезни нервной системы

17. Неврастения гипер- и гипостенической форм, раздражительная слабость, неврозы, астенические и неврозоподобные состояния.

18. Вегето-сосудистые дисфункции психогенно и соматогенно обусловленные инфекцией, интоксикацией, травмой, эндокринными нарушениями.

19. Болезнь Рейно I—III стадии и синдром Рейно гапглионарного, вибрационного и другого происхождений.

20. Мигрень любого типа и формы.

21. Прогрессирующая мышечная дистрофия (Эрба, Ландузи-Дежерина, Шарко-Мари в легкой степени).

22. Профессиональные неврозы: а) токсическая энцефалопатия; б) вибрационная болезнь (I—III стадий) от воздействия локальной и комбинированной вибрации, сопровождающаяся синдромом Рейно, вегетативным полиневритом и мышечными нарушениями.

III. БОЛЕЗНИ КОСТНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ И СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

Артриты и полиартриты нетуберкулезного происхождения

1. Ревматоидный артрит в неактивной фазе, с минимальной и средней активностью процесса; после ортопедической операции через 3 мес при возможности самообслуживания.

2. Полиартриты инфекционной определенной этиологии (бруцеллезной, вирусной, гонорейной и др.) без признаков активности процесса.

3. Деформирующий остеоартроз дистрофический, доброкачественный на почве нарушения обмена веществ и функций желез внутренней секреции с вторичным синовитом и без него; трохантерит.

4. Артриты травматического происхождения с ограничением подвижности суставов.

5. Остеохондроз и нестабильность позвоночника у взрослых, не затрудняющие передвижение больного.

6. Спондилез, спондиартроз, артроз межостистый.

7. Анкилозирующий спондилоартрит (болезнь Бехтерева, Штрюмпеля-Мари), ревматоидноподобный артрит позвоночника.

8. Спондилиты инфекционные (нетуберкулезные).

9. Травматическая спондилопатия.

Болезни костей, мышц и сухожилий

10. Последствия перелома костей туловища и конечностей с замедленной консолидацией или болезненной костной мозолью.

11. Оститы, периоститы инфекционные и травматические без выраженных нарушений опорно-двигательного аппарата.

12. Миалгии, миозиты, фибромиозиты, бурситы, тендовагиниты инфекционные, токсические, профессиональные, травматические, периодически обостряющиеся.

13. Профессиональные эпикондилиты, периартриты, стилоидиты, локоть Шахтера.

14. Контрактуры: а) артрогенные, десмогенные, Дюпюитрена; б) миогенные; в) на почве травм и огнестрельных ранений (как подготавливающее лечение перед ортопедическими операциями).

15. Остеомиелиты: а) хронические гематогенные (кроме туберкулезных), фистулезные, не требующие хирургического вмешательства или после него (при нормальной температуре); б) хронические огнестрельные рецидивирующие до и после хирургического вмешательства; в) после переломов костей без секвестров.

16. Трофические язвы кожи (после длительно незаживающих ран травматического происхождения — перед операцией или после нее).

IV. БОЛЕЗНИ ОРГАНОВ ПИЩЕВАРЕНИЯ

Болезни пищевода

1. Рефлюкс-эзофагит: болевой, диспептический, дисфагической и смешанной форм, легкой и средней степени, вне фазы обострения.

Болезни желудка

2. Хронический гастрит с секреторной недостаточностью, а также с сохраненной и повышенной секрецией, вне фазы обострения. Гастродуоденит с нарушенной секреторной и моторной функцией желудка.

3. Язвенная болезнь желудка, язвенная болезнь 12-перстной кишки, гастроюанальная язва в фазе ремиссии, неполной ремиссии

или затухающего обострения без двигательной недостаточности желудка, склонности к кровотечениям, пенетрации и подозрения на возможность злокачественного перерождения.

4. Болезни оперированного желудка: по поводу язвенной болезни желудка и 12-перстной кишки не ранее, чем через 1—2 мес после операции с наличием демпинг- и гипогликемического синдромов легкой и средней степени, астенического синдрома при окрепшем послеоперационном рубце и удовлетворительном общем состоянии.

Болезни кишечника

5. Хронические колиты и энтероколиты легкой и средней степени, кроме стенозирующих, туберкулезных язвенных бацилярных и амёбных форм вне фазы обострения.

6. Функциональные расстройства кишечника, дискинезии кишечника с явлениями кишечного стаза или диареей вне фазы обострения.

Болезни печени, желчных путей и поджелудочной железы

7. Остаточные явления болезни Боткина после окончания желтушного периода в неактивной фазе или в фазе затухания активности (отсутствие или слабо выраженный болевой синдром, увеличение печени не более чем на 1—2 см, нормальные размеры селезенки, нормальная температура, нерезко выраженные изменения со стороны крови, небольшие отклонения функциональных проб со стороны печени).

8. Хронические гепатиты, остаточные явления после токсико-химических поражений печени в неактивной фазе при незначительных отклонениях функциональных проб печени и общем удовлетворительном состоянии.

9. Хронические холециститы, холангиты, ангиохолиты различной этиологии без склонности к частым обострениям, без явлений желтухи и при нормальном СОЭ.

10. Состояние после оперативного вмешательства на печени и желчных путях не ранее, чем через 3—4 мес после операции.

11. Дискинезии желчных путей и желчного пузыря.

12. Панкреатит хронический (кроме туберкулезного) при отсутствии склонности к частым обострениям.

13. Перигастриты, перидуодениты, перигепатиты, перихолециститы, периколиты, развившиеся на почве хронических воспалений (нетуберкулезного происхождения) после операций и травм брюшной полости.

V. БОЛЕЗНИ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКИЕ

1. Сальпингит и оофорит хронические и после обострения не ранее, чем через 2 мес, при нормальной температуре без значительных сдвигов лейкоцитарной формулы и СОЭ.

2. Параметрит, периметрит по окончании острого периода не ранее, чем через 4—6 недель, при нормальной температуре без значительных сдвигов в лейкоцитарной формуле и СОЭ.

3. Тазовые спайки брюшины после перенесенного воспалительного процесса в малом тазу, после операции по поводу внематочной беременности или воспалительных процессов труб и яичников не ранее, чем через 4 недели после операции.

4. Эндометрит, метрит в хронической стадии.

5. Неправильное положение матки, фиксированное положение, ретрофлексия после перенесенного воспалительного процесса.

6. Гипоплазия матки в сочетании с хроническим воспалительным процессом со стороны женских половых органов.

7. Гипофункция яичников в сочетании с хроническим воспалительным процессом со стороны женских половых органов.

8. Осложнения после хирургических вмешательств: послеоперационный инфильтрат после удаления матки, труб, яичников по окончании острого периода не ранее, чем через 32 мес, при нормальной температуре без значительных сдвигов в лейкоцитарной формуле и СОЭ.

9. Бесплодие, возникшее в результате воспалительных заболеваний матки, труб, яичников, а также при врожденном недоразвитии матки.

10. Климактерические симптомы, менопаузы.

VI. БОЛЕЗНИ МОЧЕПОЛОВЫХ ОРГАНОВ

1. Хронические пиелонефриты, в том числе калькулезные в периоде ремиссии, без нарушения азотовыделительной функции и без выраженной гипертонии.

2. Хронические (неспецифические) циститы. Воспаление триугольника мочевого пузыря.

3. Хронические простатиты, везикулиты, фуникулиты, эпидидимиты, орхиты.

VII. БОЛЕЗНИ НАРУШЕНИЯ ОБМЕНА ВЕЩЕСТВ И БОЛЕЗНИ ЭНДОКРИННОЙ СИСТЕМЫ

1. Ожирение алиментарное при недостаточности кровообращения не выше I степени.

2. Сахарный диабет легкой и средней степени в состоянии устойчивой компенсации без склонности к ацидозу.

3. Подагра, мочекислый диатез.

4. Оксалурия.

5. Фосфатурия.

6. Тиреотоксикоз легкой степени.

7. Гипотиреоз и микседема (нетяжелые формы), сопровождающиеся тиреогенным ожирением и полиартритами.

VIII. БОЛЕЗНИ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ НЕТУБЕРКУЛЕЗНОГО ХАРАКТЕРА

1. Эмфизема легких без выраженного кардиопульмонального синдрома при легочно-сердечной недостаточности не выше I степени.

2. Хроническая пневмония I--II стадии в периоде ремиссии без бронхоэктазов, частых и тяжелых астматических приступов при

явлениях сердечно-легочной недостаточности не выше I степени.

3. Бронхиальная астма без частых и тяжелых приступов; хронические астматоидные бронхиты.

IX. БОЛЕЗНИ КОЖИ

1. Псориаз хронической стадии, зимняя форма без явлений эритродермии и артроза с анкилозами. Лечение в летнее время.

2. Псориаз стационарной формы с явлением артралгии и начальных форм артрозов, не требующих постельного режима.

3. Псориаз с обострением процесса в весенне-летний период. Лечение с ноября по апрель.

4. Нейродермит ограниченный и диффузный, за исключением экссудативной формы.

5. Себорейная экзема: хроническая стадия, зимняя форма, стационарная фаза.

6. Хроническая экзема: истинная, дисгидротическая, с омолоделостью.

7. Красный плоский лишай, за исключением острой и подострой стадий и распространенной формы.

8. Склеродермия, бляшечные и системные формы с поражением опорно-двигательного аппарата и легкими поражениями висцеральных органов.

9. Почесуха в легкой степени выраженности, неосложненная пиодермией.

10. Крапивница аллергической природы в легкой степени.

11. Кератодермия, различные формы гиперкератоза.

12. Различной формы облысения, не поддающиеся медикаментозной терапии.

13. Ихтиоз 1—2 стадии.

X. БОЛЕЗНИ СИСТЕМЫ КРОВИ И ХРОНИЧЕСКИЕ ИНТОКСИКАЦИИ

1. Анемия железodefицитная.

2. Анемия пернициозная и хлороз в стадии клинической ремиссии.

3. Лейкозы хронические.

4. Гемофилия при отсутствии обострения и наличии стойких гемартрозов.

5. Гемолитическая анемия после обострения при общем удовлетворительном состоянии — прекращение гемолиза.

6. Гипопластическая анемия в стадии ремиссии — стабилизация картины крови при общем удовлетворительном состоянии организма.

7. Хроническая лучевая болезнь I—II степени в стадии формирования, восстановления и стабилизации при общем удовлетворительном состоянии.

8. Хронические профессиональные отравления тяжелыми металлами (свинцом, ртутью и др.).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

КЛАССИФИКАЦИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ЛЕЧЕБНЫХ ВОД

(по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Рп, Бк/л
------------------------	----------------------	----------------------	--

1. Монокомпонентные минеральные воды

- | | | | |
|---|---|--|---|
| 1. Углекислые лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения | Боржомский, Поляно-Квасовский, Саирме, Улерский, Железноводский, Славяновский, Кисловодский, Дзигухский, Ессентукский, Сызанский | HCO_3 различного катионного состава
$\text{SO}_4 - \text{HCO}_3$, $\text{Cl} - \text{HCO}_3$ и $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4$ различного катионного состава | $\text{CO}_2 > 500$
$\text{CO}_2 > 500$ |
| 2. Сероводородные наружного применения | Молдавский (Красноармейский, Леушени, Великолукский, Кемери, Сергиевский, Немиловский, Талинский, Тбилисский, Крчинский, Талгинский, Молдавский (Унгены), Ейский, Нефтекалинский) | $\text{HCO}_3 - \text{Na}$; $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Ca}$;
$\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Na}$
$\text{HCO}_3 - \text{SO}_4$, SO_4 и $\text{Cl} - \text{SO}_4$ различного катионного состава
$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$, $\text{SO}_4 - \text{Cl}$ различного катионного состава; $\text{Cl} - \text{Na}$ | $\text{H}_2\text{S} > 10$
$\text{H}_2\text{S} > 10$
$\text{H}_2\text{S} > 10$ |
| 3. Радочные питьевые лечебные, наружного применения | Мировский, Карташинский, Пятигорский № 2, Увелединский | HCO_3 , $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3$ и $\text{Cl} - \text{HCO}_3$ различного катионного состава | $\text{Rn} > 185$ |

Продолжение прилож. 3

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Rn, Бк/л
4. Кремнистые лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения	Куинский (Казахстан), Воронежский, Криворожский, Георгьев-Дежский	$\text{HCO}_3 - \text{SO}_4$ и $\text{Cl} - \text{SO}_4$ различного катионного состава	$\text{Rn} > 185$
5. Железистые питьевые лечебные	Токаревский (Ленинградская область), Криворожский, Язровский № 9 (Таджикистан)	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$; $\text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$	$\text{Rn} > 185$
4. Кремнистые лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения	Тумнинский, Березовский, Анненский, Иссык-Кульский, Кульдурский, Ходжа-Обигармский, Баняевский, Горьковский, Питавский, Большереченский, Актюбинский, Кулунский (Магданский)	$\text{HCO}_3 - \text{Na}$; $\text{HCO} - \text{Na} - \text{Ca}$; $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Na}$; $\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Na}$; $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Na}$; $\text{SO}_4 - \text{Na}$; $\text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Na}$; $\text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 > 50$ $\text{H}_2\text{SO}_3 > 50$ $\text{H}_2\text{SO}_3 > 50$ $\text{H}_2\text{SO}_3 > 50$
5. Железистые питьевые лечебные	Краснокаменский, Байдакский, Голганский, Полюстровский	$\text{HCO}_3 - \text{Ca} - \text{Na}$; $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Ca} - \text{Mg}$; $\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Ca}$	$\text{Fe} > 10$

Марциальный, Гайский, Джунлинский, Мелвезьеозерский	$\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Ca} - \text{Mg} - \text{SO}_4 - \text{Na};$ $\text{Ca} - \text{Na}; \text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Mg} - \text{Na}$	$\text{Fe} > 10$
6. Йодные лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения	Бакинский (пл. Тува), Семигорский Азовский № 2 Прибалтийский (г. Калверия), Копет-Дагский (Иджили Ашхабад, Тарсакан), Ходь женский, скв. 503	$\text{I} > 5$ $\text{I} > 5$ $\text{I} > 5$
7. Эрозные лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения	Бирюсинский Талцкий, Нижне-Сергинский, Тюменский, Белогорский	$\text{Br} > 25$ $\text{Br} > 25$
8. Больные лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения	Лазаревский	$\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Na}; \text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$ $\text{H}_3\text{BO}_3 > 35$
9. С новышееным содержанием органических веществ, питьевые лечебные	«Нафтуся»	$\text{HCO}_3 - \text{Mg} - \text{Ca}; \text{Ca} - \text{Na}$ $\text{C}_{\text{орг.}} > 5$

10. Лечебные свойства которых определяются ионно-солевым составом, лечебные свойства, питьевые лечебные, наружного применения	Ташкентский, Махачкалинский	$\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Na}; \text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Na};$ $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Na}$	—
	Краииский, Ликенайский	$\text{SO}_4 - \text{Ca}$	—
	Дороховский, Ашхабадский	$\text{SO}_4 - \text{Mg} - \text{Ca}$	—
	Московский, Кашанский	$\text{SO}_4 - \text{Na} - \text{Mg} - \text{Ca}$	—
	Липецкий, Буйский	$\text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{Na}$	—
	Угличский	$\text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{Ca} - \text{Na}$	—
	Ижевский	$\text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{Mg} - \text{Na} - \text{Ca}$	—
	Азовский	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{N}_2$	—
	Чартакский	$\text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Na}$	—
	Алма-Атинский	$\text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$	—
	Хиловский	$\text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Mg} - \text{Ca} - \text{Na}$	—
	Миргородский	$\text{Cl} - \text{N}_2$	—
	Друскининкайский	$\text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$	$\text{NaCl} > 10\ 000$
	Багалынский	$\text{SO}_4 - \text{Mg} - \text{Na}$	$\text{NaCl} > 10\ 000$
	Лысогорский	$\text{Cl} - \text{SO}_4 - \text{Mg} - \text{Na}$	—
	Старорусский, Красносельский	$\text{Cl} - \text{Na}$	$\text{NaCl} > 10\ 000$
	Аркеванский	$\text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$	$\text{NaCl} > 10\ 000$
	Друскининкайский, скв. 1, Усольский	$\text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$	$\text{NaCl} > 10\ 000$

ii. Бикарбонатные минеральные воды

1. Углекислые сероводородные наружного применения	Северокавказский (Ессенту-ки № 4)	Cl—HCO ₃ —Ni	CO ₂ > 500, H ₂ S > 10
2. Углекислые радоновые питьевые лечебные, наружного применения	Молоковский, Тувинский (Тоджинский) Хмельницкий Пятигорский I, Уручанский	HCO ₃ —Mg—Ca; HCO ₃ —Na—Ca; HCO ₃ —Ca—Na Cl—HCO ₃ —Na—Ca SO ₄ —HCO ₃ —Cl—Ca—Na	CO ₂ > 500 Rn > i 85 CO ₂ > 500, Rn > 135
3. Углекислые кремнистые лечебно-столовые, минеральные лечебные, наружного применения	Набеглави Кисловодский, кв. 18, Аршан-Тункинский, Джермукский, Н. Исти-Су, Гарм-Чашминский	HCO ₃ —Na; HCO ₃ —Ni—Ca SO ₄ —HCO ₃ —Na; SO ₄ —HCO ₃ —Na—Ca; SO ₄ —HCO ₃ —Mg—Ca; SO ₄ —Cl—HCO ₃ —Ca—Na Cl—HCO ₃ —Na HCO ₃ —Cl—Ca—Na	CO ₂ > 500, H ₂ SiO ₃ > 50 CO ₂ > 500, H ₂ SO ₄ > 50
4. Углекислые железистые лечебно-столовые, питьевые лечебные	Арзни, Анкаванский Дарасунский, Ласточкинскый Кызылджанский Баксанский, Черноречинский	HCO ₃ —Na; HCO ₃ —Na—Ca; HCO ₃ —Ca—Mg; HCO ₃ —Mg—Ca—Na SO ₄ —HCO ₃ —Ca Cl—HCO ₃ —Ca—Na; Na—Ca—Mg	CO ₂ > 500, Fe > 10 CO ₂ > 500, Fe > 10 CO ₂ > 500, Fe > 10
5. Углекислые мышьяковистые питьевые лечебные, наружного применения	Вардзинский, Квачы-Рахавский	Cl—HCO ₃ —Na; HCO ₃ —Cl—Ca—Na	CO ₂ > 500, As > 0,7

Продолжение прилож. 3

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Р ₂ , Б ₄ /л
6. Углекислые борные лечебно-столовые питьевые лечебные, наружного применения	Леннаканский (Норбер № 2), Авазанский	HCO ₃ —Cl—Na	CO ₂ > 500; H ₂ BO ₃ > 35
7. Углекислые хлоридные натриевые питьевые лечебные, наружного применения	Закарпатский (Ростока, Усть-Черна)	HCO ₃ —Cl—Na; Cl—Na; Cl—Ca—Na	CO ₂ > 500; NaCl > 10 000
8. Серо-одородные кремнистые наружного применения	Уш-Бэдирский, Тайрынский (Гува), Гагринский, Серноводский Кавказский	SO ₄ —HCO ₃ —Na; SO ₄ —Na; SO ₄ —Mg—Ca; HCO ₃ —Cl—Na	H ₂ S > 10; H ₂ O ₂ > 50
9. Серо-одородные йодные наружного применения	Западнокопетдагский	Cl—SO ₄ —Na; Ca—Na	H ₂ S > 10; I > 5

10. Сероводородные бромные наружного применения
 Балханский, Исфаринский
 $\text{Cl} - \text{SO}_1 - \text{Na}; \text{Cl} - \text{Na}$
 $\text{H}_2\text{S} > 10; \text{Br} > 25$
11. Сероводородные хлоридные натриевые наружного применения
 Сользычегорский, Октябрьский, Кызыл-Тумшукский, Старомачестинский, Сухумский, Менджийский
 $\text{SO}_1 - \text{Cl} - \text{Na}; \text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na};$
 $\text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Ca} - \text{Mg} - \text{Na}; \text{Cl} - \text{Na}$
 $\text{H}_2\text{S} > 10; \text{NaCl} > 10\ 000$
12. Радоновые кремнистые питьевые лечебные, наружного применения
 Быляринский, Харгосский (Алма-Атинский), Нцловой пустыни, Алма-Арасанский, Селявинский (Магаданский)
 $\text{HCO}_3 - \text{Mg} - \text{Ca} - \text{Na};$
 $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Na}; \text{SO}_4 - \text{Ca} - \text{Na};$
 $\text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Na}; \text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$
 $\text{Rn} > 185; \text{H}_2\text{S O}_3 > 50$
13. Радоновые железистые питьевые лечебные, наружного применения
 Хмельницкий, Меркейский (Джамбулский)
 $\text{HCO}_3 - \text{Ca}; \text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$
 $\text{Rn} > 185; \text{Fe} > 10$
14. Радоновые хлоридные натриевые наружного применения
 Краснозольский, Джеты-Огузский (с в. 1)
 $\text{Cl} - \text{Na}$
 $\text{Rn} > 185; \text{NaCl}$
15. Железистые кремнистые питьевые лечебные, наружного применения
 Кислый (Краснодарский), Сахалинский (Кузгд)
 $\text{SO}_1 - \text{Mg} - \text{Na} - \text{Ca}; \text{Ca} - \text{Mg}$
 $\text{Fe} > 10; \text{H}_2\text{S O}_3; \text{O}_3 > 10$

Продолжение прилож. 3

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Rn, Бк/л
16. Железистые с наличием органического вещества (С) питьевые лечебные	Исгонник Железистый, оз. Медвежьё	$\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Mg} - \text{Na}$	$\text{Fe} > 10$; $\text{C} > 5$
17. Кремнистые мышьяковистые питьевые лечебные, наружного применения	Паратунский	$\text{SO}_4 - \text{Ca} - \text{Na}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 > 50$; $\text{As} > 0.7$
18. Кремнистые с наличием органического вещества, лечебно-столовые, питьевые лечебные	Березовский	$\text{HCO}_3 - \text{Mg} - \text{Na} - \text{Ca}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 > 50$; $\text{C} > 5$
19. Кремнистые хлоридно-натриевые наружного применения	Нальчикский, скз. 1-Р; Нешанский (Чукотский)	$\text{Cl} - \text{Na}$; $\text{Ca} - \text{Na}$	$\text{H}_2\text{SiO}_3 > 50$; $\text{NaCl} > 10.000$
20. Йодобромные лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения	Брюхоецкий (Краснодарский), Тюменский, Кырымский (Свердловская обл.)	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$; $\text{Cl} - \text{Na}$	$\text{I} > 5$; $\text{Br} > 25$

21. Подобранные лечебностоловые питьевые лечебные, наружного применения	Копетдагский (Башкали, Санд-жук)	HCO_3 — Cl — Na ; Cl — Na	$\text{I} > 5$; $\text{H}_3\text{BO}_3 > 35$
22. Йодные хлоридные натриевые питьевые лечебные, наружного применения	Подхребтовский (Туапсе), Чо-бандагский (Азербайджан), Ланоминский, Шабусский (Краснодарский), Уренгойский	HCO_3 — Cl — Na ; Cl — Na	$\text{I} > 5$; $\text{NaCl} > 10\,000$
23. Бромные хлоридные натриевые питьевые лечебные, наружного применения	Лугельский, Луганский	Cl — Na	$\text{Br} > 25$; $\text{NaCl} > 10\,000$
24. Борные хлоридные натриевые наружного применения	Западнотуркменский (Кюрендаг, скв. 18)	Cl — Na	$\text{H}_3\text{BO}_3 > 35$; $\text{NaCl} > 10\,000$
<i>III. Поликомпонентные минеральные воды</i>			
1. Углекислые кремнистые сероводородные наружного применения	Пятигорский, скв. 16	SO_4 — HCO_3 — Cl — Ca — Na	$\text{CO}_2 > 500$; $\text{H}_2\text{S O}_2 > 50$; $\text{H}_2\text{S} > 10$
2. Углекислые кремнистые радоновые питьевые лечебные, наружного применения	Шумакский (Бурятский), Багыр-сахский (Исти-Су)	HCO_3 — Mg — Ca ; Cl — HCO_3 — Na	$\text{CO}_2 > 500$; $\text{H}_2\text{SiO}_2 > 50$; $\text{Rn} > 185$

Продолжение прилож. 3

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Рп, Бк/л
3. Углекислые кремнистые железистые лечебно-столовые, питьевые лечебные, наружного применения	Кукский № 23 (Забай (алье), Шмаковский (Узсурийский), Дилижанский, скв. 2, Жунт-Гарм-Чашминский	$\text{HCO}_3 - \text{Na} - \text{Mg} - \text{Ca}, \text{Ca} - \text{Mg}$	$\text{CO}_2 > 500, \text{H}_2\text{SiO}_3 > 50;$ $\text{F}_2 > 10$
4. Углекислые кремнистые мышьяковистые питьевые лечебные, наружного применения	Исти-Су, скв. 1, Вэрунекармадонский № 9, Авадхарский	$\text{Cl} - \text{HCO}_3 - \text{Na}, \text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500, \text{H}_2\text{SiO}_3 > 50,$ $\text{As} > 0,7$
5. Углекислые кремнистые мышьяковистые йодные хлоридные натриевые наружного применения	Сахалинский, скв. 17, 18, Синегорский	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500, \text{H}_2\text{SiO}_3 > 50$
6. Углекислые кремнистые йодные хлоридные натриевые наружного применения	Разданский	$\text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500, \text{H}_2\text{SiO}_3 > 50;$ $\text{I} > 5; \text{NaCl} > 10\ 000$

7. Углекислые кремнистые борные лечебно-столовые, пятьевые лечебные, наружного применения	Горбатехский, скв. 4	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500$; $\text{H}_2\text{SiO}_2 > 50$; $\text{H}_3\text{BO}_3 > 35$
8. Углекислые кремнистые борные йодные мышьяковистые хлоридные натриевые наружного применения	Двинский, скв. 24	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500$; $\text{H}_2\text{SiO}_2 > 50$; $\text{H}_3\text{BO}_3 > 35$; $\text{I} > 5$; $\text{As} > 0,7$; $\text{NaCl} > 10\ 000$
9. Углекислые кремнистые борные мышьяковистые хлоридные натриевые наружного применения	Азатованский	$\text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500$; $\text{H}_2\text{SiO}_2 > 50$; $\text{H}_3\text{BO}_3 > 35$; $\text{As} > 0,7$; $\text{NaCl} > 10\ 000$
10. Углекислые кремнистые хлоридные натриевые наружного применения	Сирабский, скв. 10-Р, Нахичеванский, Разданский (Армянский)	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$, $\text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500$; $\text{H}_2\text{SiO}_2 > 50$; $\text{NaCl} > 10\ 000$
11. Углекислые йодобромные борные мышьяковистые хлоридные натриевые наружного применения	Джультинский	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$	$\text{CO}_2 > 500$; $\text{H}_2\text{SiO}_2 > 35$; $\text{I} > 5$; $\text{Br} > 25$; $\text{As} > 0,7$; $\text{NaCl} > 10\ 000$

Продолжение прилож. 3

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Рп, Бк/л
12. Углекислые борные железистые хлоридные натриевые наружно о применения	Нораганский, скв. 50	Cl—Na	CO ₂ > 500; H ₃ BO ₃ > 35; Fe > 10; NaCl > 10 000
13. Углекислые борные мышьяковистые хлоридные натриевые наружно о применения	Джультинский	HCO ₃ —Cl—Na	CO ₂ > 500; H ₃ BO ₃ > 35; As > 0,7; NaCl > 10 000
14. Углекислые мышьяковистые хлоридные натриевые наружно о применения	Квасы-Раховский, скв. 2, Нахичеванский, скв. 1, Ногаджар-Шоруйский, скв. 7, Джульфа	Cl—Na; HCO ₃ —Cl—Na	CO ₂ > 500; As > 0,7; NaCl > 10 000
15. Углекислые железистые радоновые питьевые лечебные наружно о применения	Хмельникский, скв. 2 Р	Cl—HCO ₃ —Na—Ca	CO ₂ ; Fe > 10; Rn > 185
16. Сероводородные йодные хлоридные натриевые наружно о применения	Молдавский (Унгены, скв. 13), Калмыцкий (Комсомольский, скв. 963)	SO ₄ —Cl—Na; Cl—Na	H ₂ S > 10; I > 5; NaCl > 10 000

17. Сероводородные бромные хлоридные натриевые наружного применения Саратовский (Сюловая гора, скв. 1), Балыктинский (Иркутский, скв 5) Cl — Na; Cl — Ca
 $H_2S > 10$; Br > 25 ;
 $NaCl > 10\ 000$
18. Сероводородные йодобромные хлоридные натриевые наружного применения Куйлярский (Туркменский, ист. 9) Cl — Na
 $H_2S > 10$; I > 5 ; Br > 25 ;
 $NaCl > 10\ 000$
19. Сероводородные бромные йодные хлоридные натриевые наружного применения Источник Южный (Западно-Туркменская низменность) Cl — Na
 $H_2S > 10$; $H_3BO_3 > 35$;
 $I > 5$; NaCl $> 10\ 000$
20. Сероводородные бромные йодные наружного применения Хангинский (Колетдаг, ист. 49) HCO_3 — Cl — Na
 $H_2S > 10$; $H_3BO_3 > 35$;
 $I > 5$
21. Сероводородные бромные хлоридные натриевые наружного применения Куйлярский Cl — Na
 $H_2S > 10$; $H_3BO_3 > 35$;
 $NaCl > 10\ 000$
22. Сероводородные бромные хлоридные натриевые наружного применения Источник Северный (грязевой вулкан Западной Туркмении) Cl — Na
 $H_2S > 10$; $H_3BO_3 > 35$;
 $Br > 25$; NaCl $> 10\ 000$

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Рп, Бк/л
23. Сероводородные кремнистые хлоридные натриевые наружного применения	Шиховский (Азербайджан, скв. 1334), Чангы-Арунскый	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$; $\text{Cl} - \text{Na}$	$\text{H}_2\text{S} > 10$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 > 50$; $\text{NaCl} > 10\ 000$
24. Сероводородные кремнистые мышьяковистые наружного применения	Жировский (Камчатский)	$\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Na}$	$\text{H}_2\text{S} > 10$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 > 50$; $\text{As} > 0,7$
25. Йодобромные хлоридные натриевые наружного применения	Маилн-Суйский (Киргизский), Новый Васюганский (Томский), Тобьеда (Енецкий), Ходыженский, скв. 730, Георгиевский, скв. 1, Петропавловский (Актюбинск, скв. Г-12)	$\text{Cl} - \text{Ca} - \text{Na}$; $\text{Cl} - \text{Na}$	$\text{I} > 5$; $\text{Br} > 25$; $\text{NaCl} > 10\ 000$
26. Йодобромные кремнистые питьевые лечебные наружного применения	Уджарминский (Грузия)	$\text{HCO}_3 - \text{Cl} - \text{Na}$	$\text{I} > 5$; $\text{Br} > 25$; $\text{H}_2\text{SiO}_3 > 5$

27. Йодобромные кремнистые хлоридные натриевые наружного применения	Вечное, скв. 5, Майкопский, скв. 8 HCO ₃ — Cl — Na; Cl — Na	I > 5, Br > 25; H ₂ SiO ₃ > 50; NaCl > 10 000
28. Йодобромные хлоридные натриевые наружного применения	Котуртупский, скв. 23, Колетдаг Cl — Na	I > 5; H ₃ BO ₃ > 35; NaCl > 10 000
29. Йодобромные борные хлоридные натриевые наружного применения	Челекенский Cl — Na	I > 5; Br > 25; H ₃ BO ₃ > 35; NaCl > 10 000
30. Йодные с содержанием органического вещества хлоридные натриевые питьевые лечебные, наружного применения	Северное Колендо (Сахалинский)	I > 5, C > 5; NaCl > 10 000
31. Бромные кремнистые хлоридные натриевые питьевые лечебные, наружного применения	Чаплинский (Магаданский) Cl — Ca — Na	Br > 25, H ₂ SiO ₃ > 50; NaCl > 10 000

Продолжение прилож. 3

Группа минеральных вод	Типы минеральных вод	Ионно-солевой состав	Концентрация биологически активных компонентов, мг/л; Кп, Бк/л
32. Железистые кремнистые хлоридные натриевые; питьевые лечебные, наружного применения	Верхне-Юргевский (склон вулкана Эбеко), Сахалинский, Белый Ключ	$Cl - SO_4 - Na; SO_4 - Cl - Na$	$Fe > 10; H_2SiO_3 > 50; NaCl > 10\ 000$
33. Фумарольные наружного применения	Узонский, Кунаирский (Кислый Ключ), Курильский	$Cl - SO_4 - Na; Cl - SO_4 - HSO_4 - Na$	$H_2SiO_3 > 50; Fe > 10; CO_2 > 50; H_2S > 10$
34. Купферсовые питьевые лечебные	Гайский, Блявинский	$SO_4 - Na - Al - Fe; HSO_4 - SO_4 - Na - Fe$	$Fe > 10; Al; Zn; Cu$
35. Борные радоновые хлоридные натриевые	Усть-Кутский	$Cl - Na$	$Rn > 185; H_2BO_3 > 35; NaCl > 10\ 000$

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Минеральные воды	5
1.1. Понятие о минеральной воде	5
1.2. Состав минеральных вод	6
1.3. Кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные состояния минеральных вод	13
1.4. Критерии оценки лечебных свойств минеральных вод . .	17
1.5. Токсичные элементы, предельно допустимые концентрации	21
Глава 2. Классификации минеральных лечебных вод	27
2.1. Классификация минеральных вод по их применению . . .	27
2.2. Классификация минеральных вод по ионно-солевому со- ставу	27
2.3. Классификация минеральных вод по степени минерали- зации	29
2.4. Классификация минеральных вод по температуре	29
2.5. Классификация минеральных вод по радиоактивности	30
2.6. Классификация минеральных вод по кислотно-щелочным свойствам	31
2.7. Классификация минеральных вод по содержанию биоло- гически активных компонентов	33
Глава 3. Типы минеральных вод	37
3.1. Углекислые воды	37
3.2. Сероводородные воды	68
3.3. Радоновые воды	88
3.4. Йодобромные воды	104
3.5. Кремнистые термы	120
3.6. Воды, обогащенные органическим веществом	133
3.7. Железистые, мышьяковистые и борные воды	139
3.8. Лечебные воды без «специфических» компонентов и свойств	159
Глава 4. Районирование минеральных вод СССР	168
4.1. Принципы районирования	169

4.2. Понятия о провинции, области и районе минеральных вод	173
4.3. Схемы районирования	174
Глава 5. Минеральные воды древних платформ	178
5.1. Восточно-Европейская провинция	178
5.2. Сибирская провинция	218
Глава 6. Минеральные воды молодых платформ	224
6.1. Большеземельская (Печорская) провинция	224
6.2. Западно-Сибирская провинция	225
6.3. Скифско-Туранская провинция	230
Глава 7. Минеральные воды древних горно-складчатых областей	238
7.1. Урало-Монгольская провинция	238
7.2. Монголо-Охотская провинция	250
Глава 8. Минеральные воды молодых горно-складчатых областей	261
8.1. Средиземноморская провинция	261
8.2. Тихоокеанская провинция	322
Глава 9. Методика гидрогеологических исследований минеральных вод	331
9.1. Понятие о месторождении минеральных вод	331
9.2. Типизация месторождений минеральных вод	332
9.3. Ресурсы и запасы минеральных вод	335
9.4. Стадийность изучения минеральных вод	341
9.5. Основные методы изучения и разведки месторождений минеральных вод	344
Глава 10. Охрана минеральных вод от загрязнения и истощения	354
10.1. Типизация месторождений минеральных вод по их естественной защищенности от загрязнения	357
10.2. Типизация месторождений минеральных вод по их естественной защищенности от истощения	362
10.3. Основные виды водоохранных мероприятий	365

Список литературы	368
Приложение 1. Рекомендации по лечебному (внутреннему) применению минеральных вод (ГОСТ 13273—88)	370
Приложение 2. Медицинские показания по наружному применению минеральных вод	374
Приложение 3. Классификация минеральных лечебных вод (по Г. В. Куликову, А. В. Жевлакову, 1987 г.)	381

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

**Куликов Геннадий Васильевич
Жевлаков Александр Валентинович
Бондаренко Сергей Сергеевич**

МИНЕРАЛЬНЫЕ ЛЕЧЕБНЫЕ ВОДЫ СССР

Заведующий редакцией *Е. И. Кит*
Редактор издательства *Л. А. Дубкова*
Технические редакторы *Н. П. Старостина, Е. С. Сычева,*
С. В. Павлова
Корректор *Е. М. Одабашян*
ИБ № 8292

Сдано в набор 01.08.90. Подписано в печать 26.04.91. Формат 84x108 1/32.
Бумага офсетная № 1. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл.
печ. л. 21,0. Усл. кр.-отт. 42,0. Уч.-изд. л. 22,53. Тираж 12800 экз. Заказ
200/2345 — 1. Цена 1 р. 90 к.

Ордена „Знак Почета“ издательство „Недра“, 125047, Москва, Тверская
застава, 3

Набрано в ленинградской типографии № 2 головного предприятия ордена
Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения „Техническая
книга“ им. Евгении Соколовой Государственного комитета СССР по печати,
198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский пр., 29.

Отпечатано в московской типографии № 6 Госкомпечати СССР, 109088,
Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.