

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ .....</b>	<b>5</b>
<b>ПРЕДИСЛОВИЕ .....</b>	<b>6</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>8</b>
<b>Глава 1. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ .....</b>	<b>9</b>
1.1. Гидрогеологическое районирование по В. С. Ильину .....	20
1.2. Гидрогеологическое районирование по А. М. Овчинникову .....	20
1.3. Гидрогеологическое районирование по И. К. Зайцеву и Н. И. Толстыхину .....	22
1.4. Гидрогеологическое районирование по В. А. Кирюхину и Н. И. Толстыхину .....	24
1.5. Гидрогеологическое районирование по Г. Н. Каменскому .....	24
1.6. Гидрогеологическое районирование по О. К. Ланге .....	25
1.7. Гидрогеологическое районирование по С. Л. Пугачу и В. В. Куренному .....	26
<b>Глава 2. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НЕКОТОРЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР .....</b>	<b>29</b>
2.1. Артезианские бассейны платформ (артезианские области платформ) .....	29
2.1.1. Гидрогеологические условия Восточно-Европейской платформы (ВЕП) .....	29
2.1.2. Западно-Сибирская артезианская область .....	35
2.2. Гидрогеологические массивы и складчатые области .....	38
2.2.1. Балтийский гидрогеологический массив .....	40
2.2.2. Алданская складчатая область .....	41
<b>Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД .....</b>	<b>44</b>
3.1. Формирование химического состава подземных вод артезианских бассейнов .....	53
3.2. Формирование химического состава грунтовых вод .....	57
3.2.1. Грунтовые воды выщелачивания .....	59
3.2.2. Грунтовые воды континентального засоления .....	61
3.3. Формирование химического состава ПВ в условиях криолитозоны (толщ многолетнемерзлых пород) .....	65
3.4. Формирование химического состава подземных вод на участках полисульфидных месторождений .....	68

3.5. Особенности формирования химического состава подземных вод в горноскладчатых областях и предгорных равнинах.....	73
<b>Глава 4. МИКРОФЛОРА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ .....</b>	<b>77</b>
<b>Глава 5. ГАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД .....</b>	<b>84</b>
<b>Глава 6. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛЕЧЕБНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД.....</b>	<b>101</b>
6.1. Углекислые воды .....	103
6.2. Азотные термальные воды .....	106
6.3. Сероводородные (сульфидные) воды .....	107
6.4. Метановые воды .....	110
6.5. Железосодержащие воды.....	112
6.6. Мышьяк содержащие (мышьяковистые) воды .....	113
6.7. Радоновые воды .....	115
6.8. Минеральные воды, обогащенные органическим веществом .....	118
<b>Глава 7. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД .....</b>	<b>123</b>
7.1. Троицкое месторождение йодных вод .....	124
7.2. Добыча радия из подземных вод в поселке Водный (Республика Коми) .....	128
<b>Глава 8. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕРМАЛЬНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД.....</b>	<b>130</b>
8.1. Гидрогеологические условия некоторых вулканов полуострова Камчатка и островов Курильской гряды.....	139
<b>Глава 9. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ .....</b>	<b>147</b>
<b>Глава 10. ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В РАЙОНАХ РАЗВИТИЯ КАРСТУЮЩИХСЯ ПОРОД .....</b>	<b>174</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>186</b>

## **ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ**

АБ — артезианский бассейн  
ГГМ — гидрогеологический массив  
ВЕП — Восточно-Европейская платформа  
ВМ — вулканогенные массивы  
ВЮТИ — Верхнеюрские термальные источники  
ОП — область питания  
ОР — область разгрузки  
ПВ — подземные воды  
СО — складчатая область  
ТЙЗ — Троицкий йодный завод

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Закономерности в распространении и формировании ПВ определяются сочетанием многих обстоятельств и факторов. Так, для питания подземных вод важно количество атмосферных осадков (а точнее, величина инфильтрационного питания), влажность и температура воздуха. Также играют роль величина поверхностного стока, форма рельефа и строение верхней части разреза. Химический состав и коллекторские свойства водовмещающих пород также определяют возможность накопления подземных вод и их химический облик. Итогом взаимодействия указанных факторов являются особенности в распространении ресурсов, состава и свойств подземных вод.

Влияние физико-географических факторов сильнее всего сказывается в верхних слоях подземной гидросфера. Изменение величины атмосферных осадков, температуры, влажности в широтном направлении в платформенных условиях позволяет выделить пять географических (ландшафтных) зон: тундры, лесотундры, таежных и смешанных лесов, степей и лесостепей, пустынь и полупустынь, тропиков и субтропиков, в пределах которых формируются различные типы подземных вод. Аналогично влияние физико-географических факторов в пределах горноскладчатых областей, что приводит к формированию высотной поясности химического состава подземных вод.

С глубиной роль физико-географических факторов ослабевает и возрастает значение геологических; увеличиваются давление и температура, породы литифицируются, растет их плотность, снижаются проницаемость и влажность, изменяются гидродинамические, гидрохимические и температурные условия, что формирует специфическую вертикальную гидрогеохимическую и гидродинамическую зональности.

Таким образом, действие всех природных факторов выражается в формировании зональности: широтной (площадной), высотной (поясности) и глубинной (вертикальной).

Учение о зональностях и закономерностях в подземной гидросфере является основным вопросом, который изучается в курсе «Региональная гидрогеология».

Данное учебное пособие является вторым изданием. В него добавлены разделы, касающиеся газовой зональности в подземной гидросфере, гидрогеологические аспекты в районах развития карста и территориях, примыкающих к морским акваториям. За основу взят курс, который читался деканом гидрогеологического факультета, кандидатом геолого-минералогических наук Анатолием Михайловичем Крысенко, за что авторы приносят ему искреннюю благодарность.

*Авторы*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Региональная гидрогеология» изучает общие закономерности распространения и формирования режима, состава и свойств различных типов подземных вод (пресных, минеральных, термальных, промышленных) в пределах обширных территорий (континентов или отдельных географических районов).

Раздел «Региональная гидрогеология» входит в курс дисциплин, читаемых студентам на завершающем этапе их обучения. Для успешного освоения программы курса необходимы знания по геологии и гидрогеологии (общей гидрогеологии, гидрохимии, гидродинамике), химии, физике и другим дисциплинам.

Курс «Региональная гидрогеология» состоит из двух исторически сложившихся разделов. В первом разделе описываются гидрогеологические условия конкретных районов бывшего СССР и России: приводятся данные об условиях залегания, формирования и накопления ПВ, информация о химическом и газовом составе. Второй раздел посвящен систематизации и обобщению полученного материала, на котором базируются различные теории, объясняющие условия формирования и эволюции гидрогеологических систем, метаморфизм подземных вод, обосновывается связь между химическим составом подземных вод, условиями их залегания, геологическим строением и физико-географической обстановкой. Региональная гидрогеология обобщает и систематизирует весь разносторонний материал, полученный за весь период обучения студентов.

В данной работе рассматриваются мелко- и среднемасштабные схемы районирования. Знание региональных гидрогеологических закономерностей необходимо для умелого планирования и методически правильной организации гидрогеологических работ, уменьшения их стоимости и продолжительности.

# **Глава 1**

## **ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ**

Основой региональной гидрогеологии является представление о гидрогеологическом районе (регионе), под которым понимается элемент подземной гидросферы, ограниченный естественными гидрогеологическими границами разного типа, с единными условиями формирования подземных вод.

Развитие гидрогеологического районирования в СССР и РФ связано с именами М. М. Василевского, В. С. Ильина [29, 30], И. К. Зайцева [23, 24, 25], А. Н. Семихатова [66], Н. И. Толстыхина [26, 92], Г. Н. Каменского [31, 32], А. М. Овчинникова [53], И. В. Гармонова, О. К. Ланге [46, 47, 48, 103], Е. В. Пиннекера [56, 57], Н. С. Роговской [63], В. А. Кирюхина [37], С. Л. Пугача [109, 113] и ряда других исследователей.

В зависимости от задач и масштаба исследований гидрогеологическое районирование подразделяют на общее и специальное. К первому относится районирование, предусматривающее выделение естественных гидрогеологических участков на поверхности и в недрах Земли (геологического пространства), характеризующихся общностью закономерностей распространения и формирования подземных вод [24].

При общем гидрогеологическом районировании используется так называемый структурно-гидрогеологический принцип (метод). В соответствии с этим принципом под гидрогеологическим районом рассматривается определенный структурно-геологический элемент земной коры (несколько элементов) и в качестве границ этого элемента принимаются структурно-тектонические границы (своды, антиклинали, поднятия, авлакогены, валы, разломы и т. д.). В зависимости от масштаба исследований этот тип районирования, как правило, средне- и мелкомасштабный.

Специальное гидрогеологическое районирование предусматривает выделение частей геологического пространства, обладающих общностью условий и возможностей использования подземных вод. Специальное гидрогеологическое районирование проводят применительно для решения каких-либо прикладных или специальных задач. В зависимости от масштаба исследований оно, как правило, средне- и крупномасштабное. Так, например, проведено райони-

рование территории России по возможности захоронения жидких отходов: на карте по совокупности гидрогеологических факторов выделены районы благоприятные или неблагоприятные для магазинирования сточных вод и т. д. [87, 89]. Таким же способом специальное гидрогеологическое районирование может быть применено для грунтовых вод: выделяются области неглубокого или, наоборот, глубокого залегания грунтовых вод; выделяются области по минерализации или химическому типу воды и т. д.

Принципы районирования артезианских и грунтовых вод различны. Формирование грунтовых вод определяется в основном климатическими условиями, рельефом местности, литологическими особенностями пород, выходящих за дневную поверхность, историей геологического развития в неоген-четвертичное время. Целью мелкомасштабного районирования грунтовых вод является установление их зональности. Географическое распределение грунтовых вод по условиям их формирования, минерализации и химическому составу подчиняется естественно-исторической (географической) зональности, установленной В. В. Докучаевым, и аналогично ей. Для артезианских вод физико-географические факторы, хотя и оказывают влияние на их формирование, не являются определяющими. Первая попытка картирования артезианских и глубоких грунтовых вод была сделана в 1925 г. А. Н. Семихатовым [66]. Его схема гидрогеологического районирования составлена для Европейской части страны и в ее основе лежит геологическая карта региона.

При использовании структурно-гидрогеологического принципа, с некоторыми различиями в названиях, выделяются несколько основных типов гидрогеологических структур.

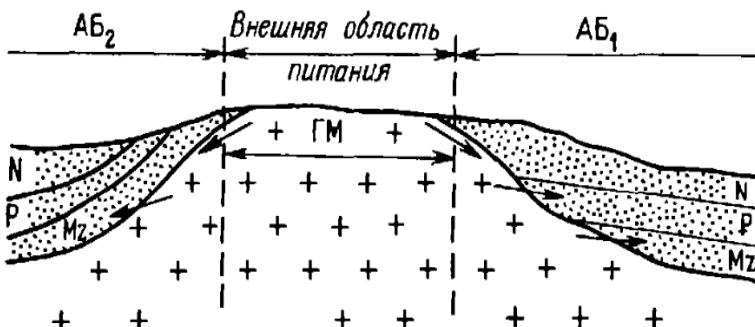
1. АБ платформенного типа, выделяемый в структурах типа синеклиз и краевых прогибов (артезианские бассейны платформенного типа объединяются в артезианскую область, выделяемую в границах платформ и плит).

2. АБ межгорного типа: бассейны подземных вод, связанные с межгорными и внутри горными впадинами.

3. ГГМ и СО. Эти типы гидрогеологических структур выражены в рельефе поднятиями. В первом случае на дневной поверхности обнажаются древние кристаллические образования фундамента платформы (щиты, массивы и кряжи), во втором — сильно метаморфизованные и дислоцированные породы более молодого возраста.

4. ВМ распространены в районах с современной и древней вулканической деятельностью. Водовмещающие породы представлены вулканическими образованиями — туфами, лавами и их промежуточными разностями. Особенности гидрогеологических условий послужили поводом для их выделения в особый тип гидрогеологических структур.

Стоит отметить, что границы между смежными районами в гидродинамическом отношении являются весьма условными: между смежными артезианскими бассейнами происходят перетоки (разгрузка одних и питание смежных, соседних структур). Дополнительное питание АБ может происходить из складчатого обрамления (потоки подземных вод, стекающих с ГГМ или СО (рис. 1)).



**Рис. 1**

Положение внешней области питания АБ по [34].  
Стрелками дано направление движения ПВ

Неточность в проведении границ является несколько неудобной при проведении ряда исследований. Поэтому иногда районирование проводят на основе использования «гидрологического» (балансово-гидродинамического) принципа с выделением потоков подземных вод в бассейнах подземного стока. Бассейны подземного стока — гидравлически обособленные, с общим направлением движения поверхностных и подземных вод участки, направление движения ПВ определяется исходя из положения основного базиса дренирования. Границами при таком способе районирования являются основные (региональные) водоразделы потоков подземных вод.

Использование тех или иных факторов или того или иного их сочетания в качестве основы для гидрогеологического районирования

ния определяет различия в предложенных схемах гидрогеологического районирования территории бывшего СССР.

### Артезианские бассейны платформенного типа

Артезианский бассейн — пространственно связная со структурно-тектоническими областями гидродинамическая система, состоящая из нескольких гидрогеологических этажей (ярусов), которые представлены толщами пологозалегающих или слабо дислоцированных осадочных пород, содержащих межпластовые подземные воды (рис. 2).

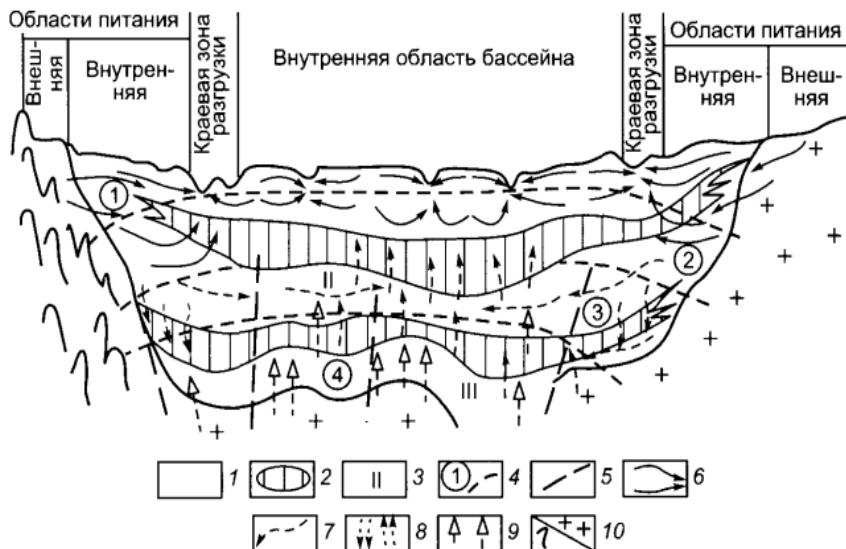


Рис. 2

Артезианский бассейн платформенного типа по [10]:

1 — слоистые системы водоносных горизонтов (комплексов) трех гидрогеологических этажей бассейна; 2 — региональные слабопроницаемые толщи; 3 — номера гидрогеологических этажей; 4 — границы и номера гидродинамических зон; 5 — зоны тектонических нарушений; 6 — система «местных» и 7 — «региональных» потоков подземных вод; 8 — субвертикальная фильтрация через слабопроницаемые породы; 9 — «внутренние» источники питания подземных вод (элизионные процессы, дегидратация, приток глубинных флюидов); 10 — породы обрамления и фундамента.

Гидрогеологические этажи (ярусы) — мощные, регионально распространенные высоко проницаемые элементы разреза, ограниченные мощными регионально распространенными слабопроницаемыми толщами. Иногда для обозначения региональных водоупоров применяется термин «водоупорная толща» (ВУТ). В пределах гидрогеологических этажей (ярусов) могут выделяться водоносные комплексы, которые подразделяются на водоносные горизонты.

Порядок артезианского бассейна при их соподчинении определяется порядком тектонической структуры, в пределах которой расположен артезианский бассейн. Так, например, Сергиево-Посадский полигон расположен на территории Сергиево-Посадского наложенного артезианского бассейна второго порядка в границах Московского артезианского бассейна (структуре первого порядка).

При гидрогеологическом изучении платформенных территорий отложения осадочного чехла рассматриваются как совокупность геофильтрационных сред со слоистой неоднородностью. Вертикальная неоднородность — основное, наиболее общее свойство разреза осадочного чехла.

Кроме выделения собственно водоносных элементов (слой, горизонт) при расчленении разреза артезианского бассейна определяют положение региональных водоупоров, изолирующих смежные элементы гидрогеологического разреза. Наличие водоупоров приводит к различию в пьезометрических напорах, составе и минерализации (гидрохимической зональности).

Наличие мощных, регионально выдержаных ВУТ приводит не только к различию в пьезометрических уровнях у водоносных горизонтов, но и к различию в скоростях фильтрации ПВ. В верхних частях гидрогеологического разреза (зоне активного водообмена) скорости фильтрации достигают первых метров в сутки. Далее, в средней части разреза, ввиду наличия экранирующих водоупорных толщ, увеличения геостатического давления, уменьшения проницаемости горных пород, скорость движения ПВ постепенно снижается и составляет первые сантиметры в сутки. Эта зона получила название зоны замедленного водообмена. Еще глубже, на контакте с породами фундамента, скорость движения ПВ составляет миллиметры в год. Этую, наиболее погруженную зону, называют зоной весьма затрудненного водообмена. Названные зоны характеризуют вертикальную гидродинамическую зональность подземных вод [27, 51].

Гидрогоеохимическая зональность отражает общие закономерности изменения состава и минерализации подземных вод с увеличением глубины залегания и удаления от периферийных частей к внутренней, наиболее погруженной части бассейна.

Зональность как проявление закономерности дифференциации условий залегания и движения, свойств и состава литосферных вод и других признаков в гидрогоеологии широко распространена. Впервые закон естественно-исторической зональности в природе был сформулирован в 1898 г. В. В. Докучаевым; на существование гидрогоеологической зональности указывали В. И. Вернадский, Б. Л. Личков. Впоследствии Н. К. Игнатович явление гидрогоеологической зональности выделил в качестве одного из основных гидрогоеологических законов [27].

В общем случае действие многочисленных факторов на литосферные воды и на окружающую их среду во времени и в пространстве приводит к формированию различных видов гидрогоеологической зональности: гидрогоеодинамической, гидрогоеотермической, гидрогоехимической, газовой. Все эти виды зональности находятся в тесной взаимосвязи, но отождествлять их неправомерно. Достаточно ощутимые корректизы в зональные схемы вносят особенности геологического (тектонического) строения и геоморфологические особенности территории (азональные явления). Так, наличие тектонических разломов приводит к формированию в водоупорных толщах АБ гидрогоеологических окон, по которым происходит разгрузка напорных, соленых и рассольных вод в верхние водоносные горизонты, что создает локальные участки с солоноватыми водами. С другой стороны, в аридной зоне, где первые от поверхности водоносные горизонты содержат солоноватые воды, азональными участками будут являться долины рек, несущими пресные воды.

В гидрогоехимическом разрезе АБ выделяются следующие гидрогоехимические зоны: зона пресных гидрокарбонатных кальциевых вод с минерализацией до  $1 \text{ г}/\text{dm}^3$ ; зона солоноватых и соленых вод сульфатного и в низах хлоридного состава с минерализацией до  $35 \text{ г}/\text{dm}^3$ ; зона соленых вод и рассолов хлоридного натриевого состава и минерализацией до  $300\text{--}400 \text{ г}/\text{l}$  (прямая гидрогоехимическая зональность). Названной гидрогоехимической зональности соответствует гидродинамическая зональность [27, 51]: зона активного водообмена с пресными ПВ гидрокарбонатного состава; зона затруд-

ненной циркуляции с ПВ сульфатного и сульфатно-хлоридного состава и зона застойного водного режима (относительного покоя) с рассолами хлоридного натриевого или кальциевого состава. Зона характеризуется наличием ряда физико-химических процессов (обменные процессы, диффузия, сорбция, осмос и др.), формирующих специфический химический состав подземных вод.

### Артезианские бассейны межгорного типа

К ним относятся бассейны, связанные с межгорными и внутригорными впадинами. Межгорные бассейны заполнены молодыми мезо-кайнозойскими отложениями (рис. 3).

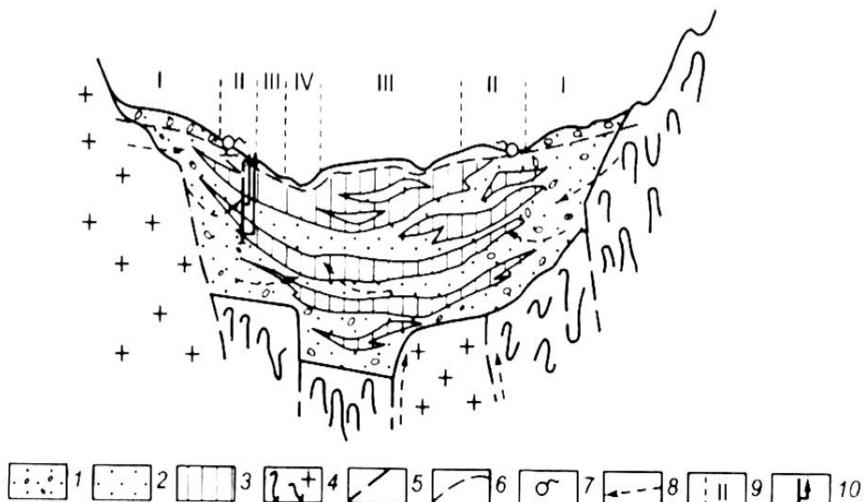


Рис. 3

Артезианский бассейн межгорного типа по [10]:

1 — грубообломочные отложения (галечники, гравийно-песчаные и др.); 2 — преимущественно пески; 3 — глины и суглинки; 4 — породы обрамления и фундамента; 5 — зоны тектонических нарушений; 6 — уровень грунтовых вод; 7 — источники; 8 — направления движения подземных вод; 9 — границы и номера гидродинамических зон (областей) бассейна: I — периферийная область бассейна, II — зона частичной разгрузки и формирования напорных подземных вод, III — зона «транзитного» стока напорных подземных вод, IV — область региональной разгрузки подземных вод; 10 — скважины, стрелки величина напора подземных вод.

К гидрогеологическим особенностям артезианских бассейнов межгорного типа можно отнести следующие.

1. Приуроченность АБ к депрессиям (тектоническим впадинам) ограниченных размеров, заполненным относительно небольшой по мощности толщей терригенных пород.

2. Равнинный пологий рельеф самой депрессии и резкое возрастание абсолютных отметок на обрамлении.

3. Наличие двух структурно-тектонических этажей: чехла рыхлых песчано-глинистых отложений и сложно дислоцированного кристаллического фундамента (складчатого основания).

4. Формирование садочного чехла в один цикл осадконакопления в условиях близко расположенных областей сноса и осадконакопления. Близость областей сноса и осадконакопления приводит к слабой сортировке обломочного материала и как следствие, неоднородности фильтрационных свойств, отсутствии в разрезе и плане выдержаных водоупорных толщ.

5. Ввиду отсутствия водоупоров, незначительной мощности осадков, близость участков питания (ледникового или снегового), подземные воды в основном пресные (до 0,2–0,3 г/л), гидрокарбонатного кальциевого, гидрокарбонатного кальциево-натриевого составов. В аридных областях в центральных частях бассейнов при неглубоком залегании уровня подземных вод и песчано-глинистым строением верхней части гидрогеологического разреза могут активно протекать процессы испарения с уровня подземных вод, что приводит к формированию солоноватых или соленых (до 35 г/л) грунтовых вод хлоридного типа.

### **Гидрогеологический массив и складчатая область**

В противоположность артезианским бассейнам, характеризующимся слоистым строением, наличием в разрезе водоупорных толщ, более или менее ярко выраженным вертикальными гидродинамической и гидрохимической зональностями, в пределах континентов выделяются участки, где толщи магматических или сильно метаморфизованных пород выходят на дневную поверхность. Подземные воды в пределах таких участков содержатся в трещинах, которые могут иметь эндогенное и экзогенное происхождение. Эндогенные трещины приурочены к тектоническим нарушениям и прослеживаются до глубин 500 м и более (рис. 4).

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)