

# МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ

Учебное пособие



Казанский университет  
2012

**УДК 553.7: 615.327**

**М62**

*Печатается по рекомендации Редакционно-издательского совета  
ФГАОУВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

*Авторы-составители:*

И.И. Минькевич, И.С. Нуриев, И.Н. Шестов

*Научный редактор*

доктор геол.-мин. наук, проф. А.И. Шевелев

*Рецензенты:*

зав. сектором гидрогеологических исследований КамНИИКИГС

(г. Пермь) С.Ю. Белов

канд. геол.-мин. наук, доц. КФУ Р.Х. Мусин

**М62 Минеральные воды:** Учебное пособие / И.И. Минькевич,  
И.С. Нуриев, И.Н. Шестов. – Казань: Казанский университет,  
2012. – 127 с.

ISBN 978-5-98180-996-5

Учебное пособие по курсу уровня знаний будущих гидрогеологов. Поможет студентам овладеть новыми навыками и знаниями в области изучения и практического использования лечебных, промышленных и термальных вод. Задачи курса состоят в формировании у студентов основных понятий, критериев и принципов оценки минеральных вод, определения типов месторождений, ресурсов и запасов минеральных вод. Учебное пособие составлено сотрудниками Казанского федерального и Пермского государственного национального исследовательского университетов.

**ISBN 978-5-98180-996-5**

© Казанский университет, 2012

© Пермский университет, 2012

## Оглавление

Предисловие .....	5
Раздел I. Основные понятия и классификации минеральных вод .....	6
Глава 1. Понятие о минеральных водах .....	6
Глава 2. Классификации лечебных минеральных вод .....	8
Раздел II. Принципы районирования и распространение лечебных минеральных вод в России и ближнем зарубежье .....	15
Глава 1. Районирование минеральных лечебных вод .....	15
Раздел III. Типы лечебных минеральных вод .....	20
Глава 1. Углекислые минеральные воды .....	20
Глава 2. Сероводородные (сульфидные) минеральные воды.....	29
Глава 3. Радоновые воды .....	34
Глава 4. Кремнистые термы .....	38
Глава 5. Минеральные воды, содержащие специфические компоненты: бромные и йодные, с повышенным содержанием органических веществ, железистые, мышьяковистые и боросодержащие воды.....	42
5.1. Йодобромные лечебные минеральные воды .....	42
5.2. Воды, обогащенные органическим веществом .....	45
5.3. Железистые воды .....	47
5.4. Мышьяковистые (мышьяковые) воды.....	49
5.5. Боросодержащие воды.....	50
Глава 6. Лечебные воды без специфических компонентов и свойств .....	52
Раздел IV. Промышленные воды .....	57
Глава 1. Понятие о промышленных минеральных водах .....	57
Глава 2. Условия распространения и районирование подземных промышленных вод.....	63
Глава 3. Добыча и использование подземных промышленных вод в России и за рубежом .....	68
Раздел V. Термальные воды .....	74
Глава 1. Понятие о термальных водах.....	74
Глава 2. Распространение и формирование термальных вод.....	74
Глава 3. Основные типы термальных вод по кислотно-щелочным свойствам .....	79
Раздел VI. Минеральные озера и грязи .....	85
Глава 1. Типы минеральных озер .....	85
Глава 2. Разновидности лечебных грязей и их распространение .....	89

Раздел VII. Гидроминеральные ресурсы Среднего Поволжья и Прикамья.....	96
Глава 1. Санатории и курорты Республики Татарстан .....	96
Глава 2. Санатории и курорты Пермского края .....	114
Раздел VIII. Понятие о месторождении минеральных вод.....	122
Глава 1. Особенности методики поисков, разведки и оценки запасов минеральных вод .....	122
Глава 2. Охрана минеральных вод от истощения и загрязнения .....	125

## Предисловие

Учебное пособие по курсу «Минеральные воды» предназначается для студентов-гидрогеологов и специалистов, занимающихся минеральными лечебными и промышленными водами. Оно также заинтересует бальнеологов, т.к. содержит большой фактический материал по химическому составу различных типов минеральных вод и природных лечебных грязей и возможностям их практического использования.

В связи с тем что данный курс преподается в Казанском и Пермском университетах, предпочтение в примерах отдается месторождениям и курортам территорий Поволжья и Предуралья. Составители пособия использовали учебную и справочную литературу, монографические исследования по генезису, составу и свойствам различных минеральных лечебных, промышленных, термальных вод. Была проведена обработка информационных материалов, полученных при поисково-разведочных работах на нефть, газ и другие полезные ископаемые, а также специальных исследований при государственной гидрогеологической съемке масштаба 1:200 000. Необходимость составления данного учебного пособия обусловлена отсутствием обобщающей специальной литературы. Следует отметить, что с момента издания «Гидрогеологии СССР» в 70-х годах XX века крупные учебно-справочные пособия не издавались.

Учебное пособие включает следующие основные разделы и темы: лечебные минеральные воды; промышленные подземные воды; термальные природные воды; природные лечебные грязи; месторождения и курорты минеральных вод. По каждому разделу рекомендуется основная и дополнительная литература. Составлены контрольные вопросы и задания для самостоятельных работ.

# Раздел I. Основные понятия и классификации минеральных вод

## *Глава 1. Понятие о минеральных водах*

Среди подземных вод выделяют: пресные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, минеральные воды, имеющие лечебное значение, промышленные воды, используемые для извлечения из них полезных компонентов – Na, Cl, I, Br и др.

Воды каждой из этих групп должны удовлетворять особым требованиям к их качеству, устанавливаемым ГОСТами.

Минеральные воды характеризуются повышенным содержанием газов, химических элементов и соединений, радиоактивностью. Кроме подземных вод к минеральным водам относятся и поверхностные воды морей и соленых озер. Границей между пресными и минеральными водами обычно считают общую минерализацию равную  $1 \text{ г/дм}^3$ , но минеральные воды могут иметь и меньшую минерализацию.

Промышленные минеральные воды – это подземные воды, содержащие в больших количествах отдельные ценные компоненты или их соединения, которые могут быть использованы как минеральное сырьё.

Что же относится к минеральным лечебным водам?

**По определению А.М. Овчинникова к минеральным лечебным водам относятся природные воды, оказывающие на организм человека лечебное действие, обусловленное либо повышенным содержанием полезных биологически активных компонентов, их ионного или газового состава, либо общим ионно-солевым составом воды.**

Другими словами, 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 (Германия), было решено считать минеральной такую воду, в которой содержание твёрдых растворимых веществ составляет более  $1 \text{ г/дм}^3$  или содержится  $\text{CO}_2$  и др. ценные фармакологические ингредиенты, или вода имеет температуру более  $20^\circ\text{C}$ .

Критерий  $1 \text{ г/дм}^3$  для минеральных вод был установлен произвольно и не имеет научного обоснования, однако на практике он применяется многими странами. В.В. Красинцева и др. указывают на главные компоненты, определяющие лечебные свойства минеральных вод:

- 1) растворённые в воде газы –  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{Rn}$ ;
- 2) микроэлементы –  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ ,  $\text{As}$  и др.;
- 3) температура воды.

Г.Н. 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.

А.Н. Огильви отмечал, что бальнеолог рассматривает воду с точки зрения возможности использования её для определённого воздействия на человеческий организм.

**На основании всех этих определений минеральными лечебными водами следует считать такие природные воды, которые оказывают на организм человека лечебные действия благодаря своим физическим и химическим свойствам.**

Физические и химические свойства определяются многими признаками:

- ◆ общая минерализация,
- ◆ ионно-солевой и газовый состав,
- ◆ газонасыщенность,
- ◆ содержание фармакологически активных (минеральных и органических) компонентов,
- ◆ радиоактивность,
- ◆ реакция водной среды,
- ◆ температура.

В соответствии с ГОСТ 13273-88 «Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые» к минеральным водам относятся воды с общей минерализацией  $1 \text{ г/дм}^3$  (хотя этот критерий до сих пор не обоснован), поэтому к минеральным могут относиться и воды с общей минерализацией менее  $1 \text{ г/дм}^3$ , но при наличии в них фармакологически активных компонентов.

## Контрольные вопросы

1. Какие воды относятся к минеральным?
2. Какие физические и химические свойства являются главными для лечебных минеральных вод?
3. Основной критерий отнесения вод к минеральным лечебным.

### Глава 2. Классификации лечебных минеральных вод

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

**По применению** минеральные лечебные воды подразделяются на две группы – для наружного и внутреннего применения.

В соответствии с ГОСТ 13273-88 к питьевым лечебным водам, применяемым только по назначению врача, относятся воды с минерализацией **от 10 до 15 г/дм<sup>3</sup>**, а при наличии в них биологически активных компонентов – с минерализацией менее 10 г/дм<sup>3</sup>. В отдельных случаях в качестве лечебных вод допускаются воды с минерализацией более 15 г/дм<sup>3</sup>. Для лечебно-столовых вод установлен критерий минерализации **от 1 до 10 г/дм<sup>3</sup>**.

**Классификация минеральных вод по ионно-солевому (анионно-катионному) составу**

Минеральные воды внутреннего применения подразделяются на 31 группу (ГОСТ 13273-88).

№ п/п	Подкласс вод по анионному составу	Подкласс вод по катионному составу	Общая минерализация вод
1	Различного анионно-катионного состава до 2 г/дм <sup>3</sup>		
2	НСО <sub>3</sub>	Ca	2-5 г/дм <sup>3</sup>
		Ca-Mg	2-5 г/дм <sup>3</sup>
		Ca-Mg-Na	2-5 г/дм <sup>3</sup>
		Ca-Na	2-5 г/дм <sup>3</sup>
		Mg-Na	2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup>
		Na	2-5, 5-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup>

3	HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>	Ca Ca-Mg Ca-Mg-Na Ca-Na Mg-Na Na	2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup>
4	SO <sub>4</sub>	Ca Ca-Mg Ca-Mg-Na Ca-Na Mg-Na Na Fe, Al и др.	2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup> 2-15, 15-100 г/дм <sup>3</sup>
5	SO <sub>4</sub> - Cl	Na Na-Ca Na-Ca-Mg Fe, Al и др.	2-5, 5-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup> 2-5 г/дм <sup>3</sup> 2-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup>
6	HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub> - Cl	Na Na-Ca Na-Ca-Mg	2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup>
7	HCO <sub>3</sub> - Cl	Na Na-Ca Na-Ca-Mg	2-5, 5-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15, 15-35 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup>
8	Cl	Na Na-Ca Na-Ca-Mg	2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup> 2-5, 5-15 г/дм <sup>3</sup>
9	Рассольные (Cl)	Na Na-Ca (Na-Mg) Na-Ca-Mg Ca-Mg Ca	35 – 150, 150 – 350, 150 – 400 г/дм <sup>3</sup> 35 – 150 г/дм <sup>3</sup> 35 – 150, 150 – 500г/дм <sup>3</sup> 35 – 150, 150-550г/дм <sup>3</sup> 35 – 150, 150 – 650г/дм <sup>3</sup>

### **Классификации минеральных вод по степени минерализации.**

Лечебные воды подразделяются на 5 укрупненных групп: малой минерализации 5-10 г/дм<sup>3</sup>; высокой минерализации 10-35 г/дм<sup>3</sup>; рассольные 35 – 150 г/дм<sup>3</sup>; крепкие рассольные > 150 г/дм<sup>3</sup>.

Для вод, содержащих биологически активные компоненты, выделяются группы лечебных вод слабой минерализации < 1 г/дм<sup>3</sup>.

**Классификация минеральных вод по температуре.** Температура воды является одним из важнейших бальнеологических и геохимических

ческих показателей. В нашей стране классификацию по температуре разрабатывали Ф.А. Макаренко, А.М. Овчинников, Г.А. Невраев, Б.Ф. Маврицкий, И.К. Зайцев, Н.И. Толстихин, В.В. Иванов. Выделено 7 групп минеральных лечебных вод.

1. *Переохлажденные высокоминерализованные и рассольные воды* с температурой менее 0°C распространены в областях многолетней (вечной) мерзлоты (на севере и северо-востоке).

2. *Очень холодные и весьма холодные воды* с температурой от 0 до 4°C широко развиты в Сибири и других областях многолетней мерзлоты.

3. *Холодные воды* с температурой от 4 до 20°C широко распространены в средних широтах.

4. *Тёплые воды (субтермальные, слаботермальные, акротермы)* с температурой от 20 до 37°C распространены на глубинах от нескольких сот метров до 1,5 км.

5. *Горячие воды (термальные, гомотермальные – близкие к температуре человеческого тела)* с температурой от 37 до 42°C развиты в молодых горно-складчатых областях на глубинах нескольких сот метров, а в платформенных – на глубинах 1,5-2 км.

6. *Очень горячие (гипертермальные) воды* от 42 до 100°C в молодых горно-складчатых областях глубокими тектоническими разломами часто выводятся на поверхность в виде источников, а в артезианских бассейнах распространены на глубинах 1,5-3 км.

7. *Исключительно горячие или перегретые воды* (перегретые воды парогидротерм и гейзеров) широко распространены в областях современного активного вулканизма.

**Классификация минеральных вод по кислотнo-щелoчным 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 **pH**. 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, где 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 осадения их из вод.

При pH=7 минеральная вода имеет нейтральную реакцию.

С увеличением температуры воды степень её диссоциации возрастает, а при снижении температуры активность ионов снижается. Наиболее низкими значениями рН характеризуются термальные воды (парогидротермы) областей современного вулканизма (рН=0–2). 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, характерно временное изменение 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 определённой мере отражает действие вод на организм человека.

По величине рН минеральные воды подразделяются на шесть групп: **3,5 – сильнокислые; 3,5-5,5 – кислые; 5,5-6,8 – слабокислые; 6,8-7,2 – нейтральные; 7,1-8,5 – слабощелочные и 8,5 – щелочные.**

Величина окислительно-восстановительного потенциала Eh отражает равновесие окислительно-восстановительного равновесия систем, находящихся в минеральных водах, содержащих элементы с переменной валентностью.

Величина Eh выражается в вольтах и милливольтках. Она зависит от температуры, а для изолированных систем от свойств вещества, составляющего систему. Системы с более высоким положительным Eh служат окислителями. В природных водах Eh находится в пределах +600 мВ – окислительные, до – 500 мВ восстановительные.

Диапазон изменений окислительно-восстановительного потенциала ограничен устойчивостью минеральной воды в системе Eh-рН и измеряется от +860 до -600 мВ. В общей схеме Eh уменьшается с ростом рН. **Максимальными значениями Eh характеризуются кислые (рН < 2), а минимальными – резкощелочные воды.** Высокое значение 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 восстановители, приводящие к резкому снижению Eh минеральных вод. Сильный восстановитель – водород, его объёмная доля в газовом составе минеральных вод может достигать 20-50% (воды 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.

**Классификация минеральных вод по содержанию биологически активных компонентов.** Основные биологически активные компоненты:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}+\text{HS}^-$ , As, Fe, Br, I, B,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ , Rn, органические вещества.

По их содержанию минеральные воды делятся на углекислые, сероводородные, мышьяковистые, железистые, бромные, йодные, борные, кремнистые, радоновые, содержащие органические вещества. Лечебные свойства минеральных вод обусловлены также температурой и реакцией водной среды. Общепринятые международные критерии по содержанию биологически активных компонентов отсутствуют. Они разрабатывались в различных странах: Германии, Австрии, Швейцарии, Италии, Англии и др. Первые критерии (нормы Грюнхута), разработанные на основе статистической обработки данных важнейших источников минеральных вод, были приняты Наугеймским совещанием.

В нашей стране действуют следующие нормы минимального содержания в минеральных водах биологически активных компонентов, мг/дм<sup>3</sup>:  $\text{CO}_2$  – 500,  $\text{H}_2\text{S}$  ( $\text{HS}^-$ ) – 10, As – 0,7, Fe – 10, Br – 25, I – 5,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  – 50. Rn – 185 Бк/л.

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

В группе монокомпонентных выделены 10 бальнеологических подгрупп: углекислые, сероводородные, радоновые, кремнистые, железистые, йодные, бромные, борные, воды с повышенным содержанием органических веществ и воды, лечебное свойство которых определяется их ионно-солевым составом. Среди бикомпонентных вод установлено большее разнообразие. Так, подгруппа углекислых вод включает воды, содержащие Rn,  $\text{SiO}_2$ , Fe, As, B, т.е. выделяются углекислые радоновые, углекислые мышьяковистые, углекислые железистые, уг-

лекарственные борные, углекислые кремнистые и углекислые хлоридные натриевые воды с минерализацией более 10 г/дм<sup>3</sup>. Наибольшим разнообразием характеризуются группы поликомпонентных вод.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите группы минеральных вод по их применению и использованию.
2. Приведите примеры групп минеральных вод по ионно-солевому составу для внутреннего использования.
3. Какие основные величины характеризуют минеральные воды по кислотности-щелочности?
4. Перечислите биологически активные компоненты минеральных лечебных вод.
5. Возьмите этикетку бутылки минеральной воды вашего региона и дайте наименование ее состава на основе приведенных выше классификаций.

### **Основная литература**

1. *Иванов В.В., Невраев Г.А.* Классификации подземных минеральных вод. – М.: Недра, 1964. – 168 с.
2. *Куликов Г.В., Жевлаков А.В., Бондаренко С.С.* Минеральные лечебные воды СССР. – М.: Недра, 1991. – 399 с.
3. *Плотникова Р.И., Соустова Т.Н.* Минеральное сырье. Минеральные подземные воды// Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 57 с.
4. *Шварцев С.Л.* Общая гидрогеология. – М.: Недра, 1996. – 423 с.

### **Дополнительная литература**

1. *Всеволожский В.А.* Основы гидрогеологии. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 448 с.
2. Гидрогеология СССР. Сводный том. – Вып.3. Ресурсы подземных вод СССР и перспективы их использования. – М.: Недра, 1977. – 280 с.
3. *Зайцев И.К., Толстихин Н.И.* Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. – М.: Недра, 1972.

4. *Зверев В.П.* Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 188 с.
5. *Карцев А.А.* Генетическая классификация подземных вод// Проблемы теоретической и региональной гидрогеохимии. – М., 1979.
6. *Питьева К.Е.* Основы региональной геохимии подземных вод. – М.: Изд-во МГУ, 1969.
7. *Питьева К.Е.* Гидрогеохимия (формирование химического состава подземных вод). – М.: Изд-во МГУ, 1978.
8. *Посохов Е.В.* Формирование химического состава подземных вод. – Л.: Гидрометиздат, 1969. – 334 с.
9. *Посохов Е.В., Толстихин Н.И.* Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). – Л.: Недра, 1977. – 240 с.
10. *Пиннекер Е.В.* Подземная гидросфера. – Новосибирск: Наука, 1984.– 156 с.
11. Словарь по гидрогеологии/ А.Я. Гаев, И.И. Минькевич. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. – 336 с.
12. Справочник гидрогеолога/ М.Е. Альтовский. – М.: Госгеолтехиздат, 1962.
13. Справочное руководство гидрогеолога в 2 т. – Л.: Недра, 1967.

## **Раздел II. Принципы районирования и распространение лечебных минеральных вод в России и ближнем зарубежье**

### *Глава 1. Районирование минеральных лечебных вод*

В основе прогнозной оценки минеральных вод лежит гидрогеологическое районирование. Оно отражает основные региональные закономерности формирования и распространения минеральных вод.

Гидрогеологическому районированию минеральных вод посвящены работы А.И. Дзенс-Литовского, Н.И. Толстихина, А.М. Овчинникова, В.В. Иванова, Л.П. Яроцкого, Г.С. Вартапяна, И.Я. Пантелеева, В.И. Кононова, Г. Буачидзе и др.

**Принципы районирования.** Провинции минеральных вод выделяются на основе гидрогеохимической, гидрогеодинамической и гидрогеотермической зональностей, которые обусловлены геологическим строением и физико-географическими условиями. Следует отметить, что анализ главных отличительных особенностей геологического строения дал возможность объяснить многие вопросы формирования минеральных вод.

#### **Понятие о провинции, области и районе минеральных вод**

*Провинция* – это крупный участок земной коры, характеризующийся единством геологического развития, относящийся к платформе или к складчатой области со свойственными им месторождениями минеральных вод различного состава и происхождения.

*Область* занимает часть провинции и характеризуется набором месторождений минеральных вод определённого состава и происхождения. В геологическом отношении область представляет собой синеклизы и антеклизы, щиты и массивы, внутренние и внешние зоны геосинклиналей, зоны тектоно-магматической активизации и рифтообразования.

*Район* занимает часть области и характеризуется местным сосредоточением минеральных вод, он располагается в пределах локальных геологических структур (антиклиналей, синклиналей, межгорных впадин, прогибов и др.).

В платформенных областях выделяют провинции минеральных вод древних и молодых платформ. В складчатых областях – провинции минеральных вод древних и молодых складчатых областей.

На территории России и стран ближнего зарубежья Г.В. Куликовым и др. выделено 9 провинций минеральных вод (рис. 1). В пределах провинций находятся области, которые отличаются характером тектонической активности, литолого-фациальными и гидрогеологическими особенностями. Выделение областей минеральных вод требует более детальной оценки особенностей геологического строения и физико-географических условий.

### **Характеристика провинций минеральных вод**

#### **Провинции древних платформ (AR-PR)**

I. *Восточно-Европейская провинция* сульфатных и хлоридных, йодобромных, сероводородных и радоновых минеральных вод и рассолов.

II. *Сибирская провинция* сульфатных и хлоридных йодобромных, борных, сероводородных минеральных вод и рассолов с углекислыми водами и кремнистыми термами в областях тектономагматической активизации.

#### **Провинции молодых платформ (PZ-MZ)**

III. *Большеземельская провинция* сульфатных и хлоридных, йодобромных и сероводородных минеральных вод.

IV. *Западно-Сибирская провинция* гидрокарбонатно- и сульфатно-хлоридных, йодобромных минеральных вод и углекислых терм.

V. *Скифско-Туранская провинция* сульфатных и хлоридных, йодобромных, борных, сероводородных и радоновых минеральных вод и кремнистых терм.

#### **Провинции древних складчатых поясов (PZ-MZ)**

VI. *Урало-Монгольская провинция* радоновых и железистых минеральных вод с кремнистыми термами и углекислыми водами в областях тектономагматической активизации и хлоридными, сероводородными, йодобромными водами в межгорных впадинах.

VII. *Верхояно-Колымская (Монголо-Охотская) провинция* радоновых и мышьяковистых минеральных вод с кремнистыми термами, с углекислыми водами в областях тектономагматической активности.

#### **Провинции молодых складчатых поясов (MZ-KZ)**

VIII. *Альпийская провинция* углекислых, мышьяковистых, железистых минеральных вод и кремнистых терм с хлоридными, сероводородными и йодобромными водами в межгорных впадинах и прогибах.

IX. *Тихоокеанская провинция* углекислых, сероводородно-углекислых, мышьяковистых, железистых минеральных вод и кремнистых терм.

## Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные гидрогеологические структуры районирования минеральных вод.
2. Перечислите основные принципы районирования минеральных лечебных вод.
3. К каким структурам обычно приурочены йодобромные воды?
4. На ксерокопии карты-схемы районирования минеральных вод раскрасьте территории распространения основных типов минеральных вод, используя условные обозначения и предлагаемую цветовую легенду.

### Основная литература

1. Куликов Г.В., Жевлаков А.В., Бондаренко С.С. Минеральные лечебные воды СССР. – М.: Недра, 1991. – 399 с.
2. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. – М.: Недра, 1996. – 423 с.

### Дополнительная литература

1. Зайцев И.К. Толстихин Н.И. Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. – М.: Недра, 1972.
2. Иванов В.В. Основные критерии оценки химического состава минеральных вод. – М.: Изд. Центр. Совета по управлению курортами проф., 1982. – 93 с.
3. Вартанян Г.С. Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов. – М.: Недра, 1977. – 288 с.
4. Швец В.М., Быкова Е.Л., Шилов И.К., Воробьева И.Н. Роль органических веществ подземных вод в миграции и концентрации йода, брома и бора на примере Азово-Кубанского артезианского бассейна // Органические вещества подземных вод и их значение в миграции и концентрации химических элементов // Труды ВСЕГИНГЕО. – М., 1970. – С. 13-95.

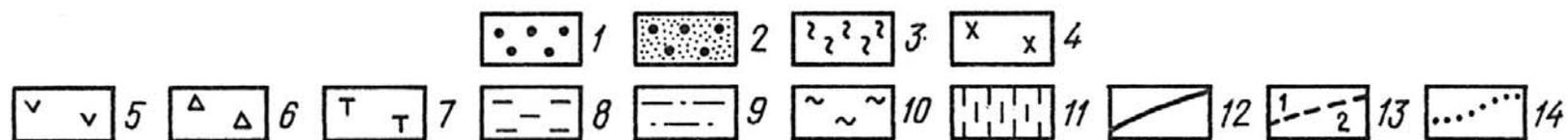
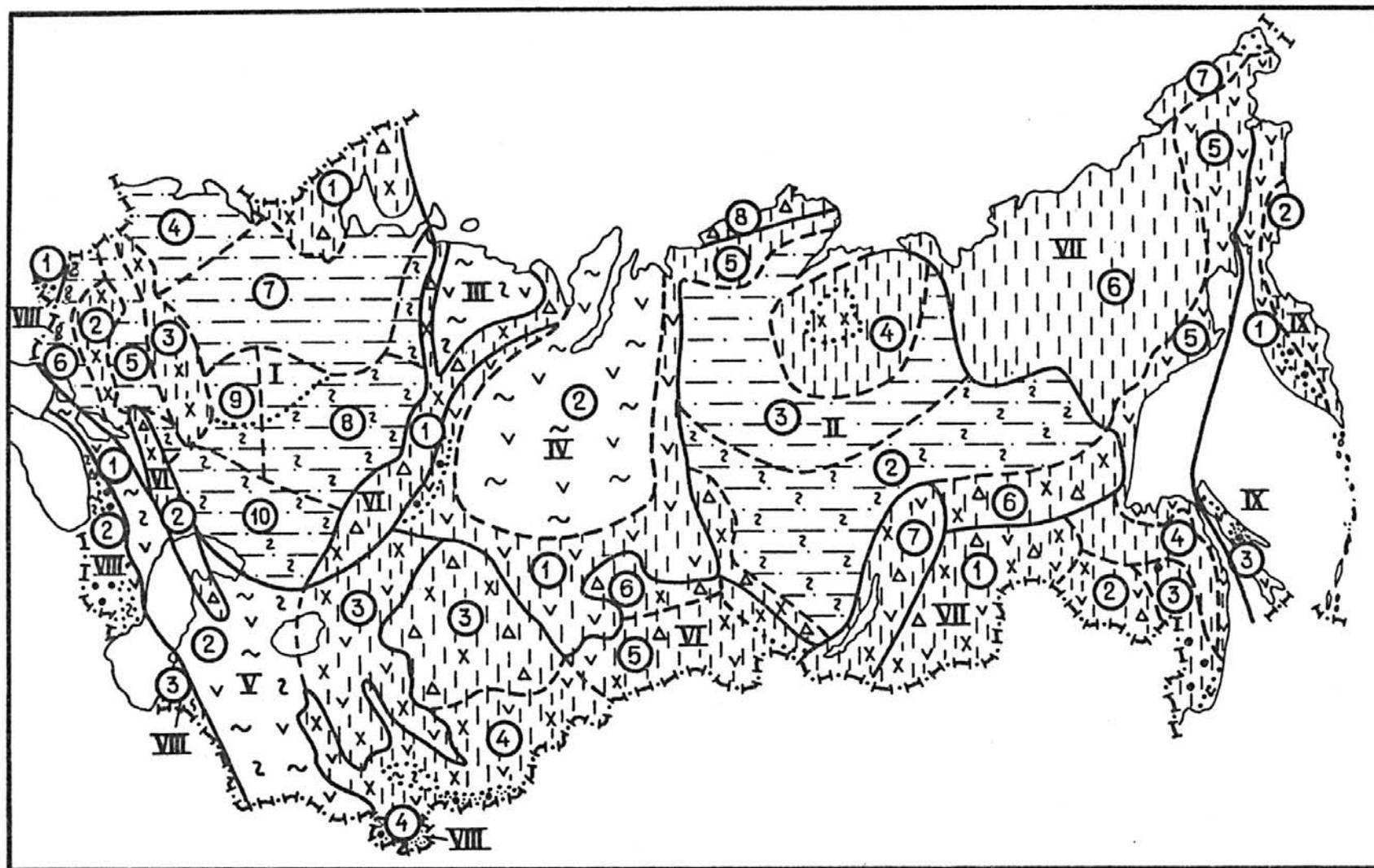


Рис. 1. Карта-схема районирования минеральных вод России и ближнего зарубежья (Г.В. Куликов, А.В. Желваков, С.С. Бондаренко):

I — IX — провинции минеральных вод (цифры в кружках — области): I — Восточно-Европейская (1 — Балтийская, 2 — Украинская, 3 — Воронежско-Белорусская, 4 — Прибалтийская, 5 — Днепровско-Донецкая, 6 — Причерноморско-Днестровская, 7 — Московско-Северодвинская, 8 — Волго-Уральская, 9 — Рязано-Саратовская, 10 — Прикаспийская); II — Сибирская (1 — Енисейская, 2 — Ленско-Виллюйская, 3 — Тунгусская, 4 — Анабарская, 5 — Южно-Таймырская, 6 — Алданская); III — Большеземельская; IV — Западно-Сибирская (1 — Приенисейско-Иртышская, 2 — Обско-Газовская); V — Скифско-Туранская (1 — Скифская, 2 — Южно-Туранская, 3 — Северо-Туранская); VI — Урало-Монгольская (1 — Урало-Тиманская, 2 — Донецко-Мангышлакская, 3 — Казахская, 4 — Тянь-Шаньская, 5 — Алтае-Саянская, 6 — Колыванская, 7 — Байкальская, 8 — Северо-Таймырская); VII — Монголо-Охотская (1 — Забайкальская, 2 — Буреинская, 3 — Уссурийская, 4 — Сихотэ-Алиньская, 5 — Приморско-Охотская, 6 — Верхояно-Колымская, 7 — Чукотская); VIII — Альпийская (Средиземноморская) (1 — Карпатская, 2 — Крымско-Кавказская, 3 — Копетдагская, 4 — Памирская); IX — Тихоокеанская (1 — Корякско-Камчатская, 2 — Курило-Камчатская, 3 — Сахалинская).  
Типы минеральных вод: 1 — углекислые; 2 — углекислые борные; 3 — сероводородные; 4 — радоновые; 5 — кремнистые термы; 6 — железистые и купоросные; 7 — фумарольные; 8 — хлоридные натриевые; 9 — бромные хлоридные натриевые; 10 — йодные и йодобромные хлоридные натриевые; 11 — различного химического состава и минерализации. Границы: 12 — провинций; 13 — областей; 14 — распространения различных типов минеральных вод

## Раздел III. Типы лечебных минеральных вод

### Глава 1. Углекислые минеральные воды

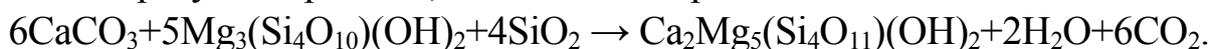
Углекислыми лечебными водами считаются воды, содержащие не менее  $0,5 \text{ г/дм}^3$  ( $500 \text{ мг/дм}^3$ ) углекислого газа. Для внутреннего применения используются воды с содержанием растворенного  $\text{CO}_2$  не менее  $0,5 \text{ г/дм}^3$ , а для наружного применения – не менее  $1,4 \text{ г/дм}^3$ .

**Образование углекислоты.** Образование  $\text{CO}_2$  – углекислого газа или угольного ангидрита – происходит в результате различных химических и биохимических процессов, связанных с разложением углеродосодержащих веществ. Он представляет собой конечный продукт окисления углерода. В растворенном состоянии  $\text{CO}_2$  химически активен и вступает в соединение с различными элементами.

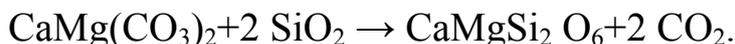
В земной коре основное количество  $\text{CO}_2$  связано с карбонатами кальция и магния. Углекислый газ является непременным компонентом всех вулканических эксгаляций.

Насыщение подземных вод углекислотой в горно-складчатых областях, активизированных участках платформ происходит за счет поступления ее из зон глубинного метаморфизма. Многие ученые: Н.И. Толстихин, А.М. Овчинников и др. – считают источником насыщения углекислых вод поствулканическую и метаморфогенную углекислоту. Образование углекислоты связано с перекристаллизацией и дегидратацией пород.

Например, при образовании зеленых сланцев, когда кальцит и тальк образуют термолит, выделяется огромное количество  $\text{CO}_2$ :



Чистый доломит при реакции с  $\text{SiO}_2$  образует диопсид (минерал группы пироксенов) и  $\text{CO}_2$ :



По данным А.В. Щербакова и др., гидролиз карбонатов с образованием углекислоты происходит при температуре  $75 - 250^\circ\text{C}$ .



Растворимость  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$  и  $\text{CO}_2$  в магме низкая, поэтому эти газы обладают высокой миграционной способностью. В верхних частях мантии флюиды нестабильны.

Общая закономерность движения флюидов снизу вверх – смена восстановительного водно-водородного флюида на водно-углекислый.

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.

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 приурочены к районам проявления молодых интрузий: Закарпатье, Большой и Малый Кавказ, Памир, Южный Тянь-Шань, Саяны, Забайкалье, Сихотэ-Алинь, Камчатка. Из них наиболее известным в РФ является район Кавказских минеральных вод (Сев. Кавказ).

**Месторождения углекислых вод.** А.М. Овчинников выделил 5 наиболее характерных типов месторождений углекислых вод по их химическому составу.

I. Гидрокарбонатные преимущественно кальциевые (холодные).

*Подтип – Забайкальский.* Ионный состав гидрокарбонатный магниево-кальциевый. Температура от 1 до 10°C. Формируются в верхней части промытых структур осадочных и метаморфических пород. Минерализация составляет 1,5 г/дм<sup>3</sup>, а содержание CO<sub>2</sub> не более 0,5 г/дм<sup>3</sup>. К основным месторождениям относятся Дарасун, Шиванда, Шмаковка, Кисловодский Нарзан.

*Подтип Нарзаны.* Температура 20°C. Ионный состав сульфатно-гидрокарбонатно-магниево-кальциевый. Формируются в известняково-доломитовых и пестроцветных толщах. Общая минерализация вод не превышает 4 г/дм<sup>3</sup>. К основным месторождениям этого подтипа относятся Аршан-Тункинский, Бадамлы (Нахичевань Азербайджан), Вильдуйген (ФРГ), Борзек (Румыния).

II. Сложного анионного состава преимущественно натриевые (горячие).

*Подтип Железноводский* (радоново-радиевый) с температурой около 37°C. Ионный состав гидрокарбонатно-сульфатно-натриевый. Формируются в зонах разломов в осадочных толщах, прорванных молодыми интрузиями. Общая минерализация вод не превышает 6,5 г/дм<sup>3</sup>. Основные месторождения: Железноводск, Исти-Су (Азербайджан), Джермук (Джермук), Карловы-Вары (Чехия).

*Подтип Пятигорский*. Температура 37°C. Типичный анионный состав хлоридно-гидрокарбонатно-кальциевый. Формируются при участии микроорганизмов (содержат сероводород). Общая минерализация менее 6,3 г/дм<sup>3</sup>. К основным месторождениям относят Пятигорск (Лермонтовский источник).

III. Гидрокарбонатно-натриевые (холодные и тёплые).

*Подтип Боржомский (бессульфатный)*. Температура от 14 до 35°C. Типичный ионный состав – гидрокарбонатно-натриевый. Геологические условия формирования: древние инфильтрационные воды флишевых отложений с участием вод типа нефтяных. Общая минерализация до 10 г/дм<sup>3</sup>. Основные месторождения: Боржоми, Авадхара (Грузия), Поляна (Закарпатье), Ласточка (Приморье).

*Подтип Виши (с сульфатами)*. Температура 14 – 27°C. Ионный состав гидрокарбонатно-натриевый с повышенным содержанием сульфатов. Сульфаты не восстановлены (большую роль играли процессы обмена катионов). Общая минерализация не более 10 г/дм<sup>3</sup>. Основные месторождения: Дилижан (Армения), Сираб (Нахичевань Азербайджан), Виши (Франция), Крыница (Польша), Билина (Чехия). Особенно следует отметить всемирно известные минеральные воды Vichy и лечебную гипоаллергенную косметику, созданную на основе термальной воды Vichy. Виши – город термальных источников в центральной Франции. Биологически чистая термальная вода Vichy известна в медицине с XVII века благодаря своему стимулирующему действию на защитные функции организма. Термальная вода Vichy (из источника Святого Луки) – самая высокоминерализованная во Франции с минерализацией 5,1 г/дм<sup>3</sup>, рН 7,4. Она имеет температуру 27,3 °C и относится к группе содобикарбонатных вод. Ее химический состав очень богат. Она содержит 17 минералов и 13 микроэлементов, играющих жизненно важную роль в метаболизме кожи (успокаивающее воздействие и повышение естественных защитных сил кожи). Уникальные природные качества воды Vichy невозможно воссоздать в лабораторных условиях, поэтому ее называют «живой водой».

IV. Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (холодные и теплые).

*Подтип Эссентукский (местами обогащенные иодом).* Температура менее 37°C. Типичный ионный состав гидрокарбонатно-хлоридно-натриевый. Смешанные инфильтрационные и изменённые воды морского происхождения в районах нефтяных месторождений. Минерализация вод не превышает 12 г/дм<sup>3</sup>. Основные месторождения Эссентуки, Дзау-Суар (Джава), Малка (Камчатка), Соём (Закарпатье), Лугачевице (Словакия).

*Подтип Джульфинский (с повышенным содержанием мышьяка).* Температура колеблется в пределах 37°C. Ионный состав хлоридно-гидрокарбонатно-натриевый. Геологические условия формирования – на участках гидротермального мышьяковистого оруденения. Минерализация менее 25 г/дм<sup>3</sup>. Основные месторождения: Джульфа (Нахичевань Азербайджан), Синегорский (Южный Сахалин).

V. Хлоридно-натриевые.

*Подтип Арзни.* Типичный состав хлоридно-натриевый. Воды выщелачивания соляных толщ. Минерализация менее 3 г/дм<sup>3</sup>. Температура не более 37°C. Основные месторождения: Арзни (Армения), Наугейм, Кохбрунн (ФРГ).

*Подтип Карпатский.* Температура менее 37°C. Типичный ионный состав – хлоридно-натриевый. Воды древние, морского генезиса с минерализацией, не превышающей 35 г/дм<sup>3</sup>. Основные месторождения: Вишне-Быстра (Закарпатье).

*Подтип Кавказский* с температурой до 37°C. Типичный ионный состав хлоридно-кальциево-натриевый. Седиментационные метаморфизованные воды. Минерализация вод не превышает 30 г/дм<sup>3</sup>. К основным месторождениям относят: Карма-Дон (Северная Осетия), Либани (Боржомский район Грузии).

Углекислые минеральные воды – природные воды, имеющие различные ионный состав, минерализацию, температуру и содержание не менее 0,75 г/дм<sup>3</sup> углекислого газа (двуокиси углерода – CO<sub>2</sub>). Углекислые воды – весьма ценные в терапевтическом отношении и широко распространенные минеральные воды. На базе их источников в СНГ функционируют такие известные курорты, как Боржоми, Дарасун, Джермук, Эссентуки, Железноводск, Кисловодск, Пятигорск и др. На курортах углекислые минеральные воды применяют для питьевого лечения и в виде ванн.

Углекислые воды, возможно, одними из первых начали применять в терапевтических целях, поскольку бурлящие источники с газовыми пузырьками, оседающими на теле при погружении в такие воды, привлекали внимание усталых путников. Печорин перед дуэлью погрузился в «холодный кипяток нарзана» и почувствовал, что к нему возвращаются телесные и душевные силы. Нарзан — самая известная в России вода этого типа. Углекислые воды встречаются и в других районах страны. «Аршанами» их называют в Забайкалье, в Закарпатье — «квасами» и «буркутами», а на Кавказе углекислые воды называют нарзанами.

В механизме действия углекислых вод различного химического состава основное значение имеют содержание и концентрация углекислоты.

Углекислота, двуокись углерода, или угольный ангидрид, или то, что мы привыкли называть «углекислый газ» (*Acidum carbonicum anhydricum*; *Carbonei dioxydum*,  $\text{CO}_2$ ), постоянно образуется в тканях организма в процессе обмена веществ и играет важную роль в регуляции дыхания и кровообращения. Углекислый газ был первым между всеми другими газами противопоставлен воздуху под названием «дикого газа» алхимиком XVI в. Ван-Гельмонтом, а его открытием было положено начало новой отрасли химии – пневматохимии (химии газов). Углекислый газ был найден в пещерах, копиях, погребах, а также в некоторых минеральных водах – «воды сна выделяют дикий воздух». Заслуга определения свойств углекислоты принадлежит английскому химику Дж. Пристли. Английский физик и химик Г. Кавендиш, верный своему правилу все определять «мерой, числом и весом», в 1766 г. обнаружил два характерных физических свойства углекислого газа: его высокий удельный вес и значительную растворимость в воде.

Углекислый газ не просто растворяется в воде, а частично соединяется с нею, образуя угольную кислоту. Г. Кавендиш первый обратил внимание на то, что водный раствор двуокиси углерода имеет приятный кислый вкус. Он продемонстрировал в Королевском научном обществе стакан «чрезвычайно приятно искрящейся (шипучей) воды, едва ли отличной от Сельтерской воды» и получил за это открытие золотую медаль общества. Это было первое практическое применение диоксида углерода.

Знаменитая Сельтерская вода, которую древние римляне называли «танцующей» — *Aqua Saltare*, – была самой известной природной уг-

лекислой водой. После того как научились любые воды насыщать углекислотой, «сельтерской» стали называть практически все искусственные минеральные воды. Бутылка сельтерской была непременным атрибутом натюрморта или описания сцены действия во многих романах. Углекислота, по мнению П. Жамса, является «паспортом для минеральных вод».

Углекислые воды в настоящее время признаны как один из самых эффективных методов курортной терапии при заболеваниях сердечно-сосудистой системы. Между тем терапевтический эффект вод Наугейма в Германии, самого известного курорта для кардиологических больных, еще в середине XIX в. приписывали не углекислоте, которая содержится в этих водах, а соли и для большей эффективности в воды для ванн добавляли маточный рассол и бромистый магний.

Первые официальные показания к лечению углекислыми водами – нарзаном – были опубликованы в 1893 г. Управлением Горного департамента, в ведении которого находились тогда Минеральные Воды. В показания были включены атонические катары и камни мочевого пузыря, изменения в чувствительной и двигательной сфере при неврозах, если причина заболевания не лежит в поражениях нервной системы, хронические сыпи при вялости кожи, общий упадок питания при продолжительном лечении серными и щелочными ваннами, йодом, ртутью и другими препаратами. К этому времени нарзанные ванны уже предписывали при женских болезнях. Только в 1903 г. на Втором всероссийском съезде бальнеологов в показания для лечения в Кисловодске включили заболевания сердечно-сосудистой системы. С 1904 г. Кисловодск стал развиваться как курорт кардиологический, после того как сто лет был предназначен для лечения разных, в первую очередь желудочно-кишечных заболеваний. В 1959 г. научно-курортный совет совместно с Бальнеологическим институтом разработал еще один вариант уточненных показаний, в которых узаконили лечение в Кисловодске неврозов с преимущественным нарушением сердечно-сосудистой деятельности (кардиалгии, ангионевротическая форма стенокардии, нарушения сердечного ритма).

*Кавказские Минеральные Воды* расположены в середине семисоткилометрового перешейка между Черным и Каспийским морями на северных склонах Главного Кавказского хребта, всего в 90 км от самой высокой горы в Европе – Эльбруса, двуглавая вершина которого хорошо видна практически на всей территории региона. Занимая терри-

торию около 6 тыс. кв. км, регион отличается большими контрастами природных условий.

*Кисловодск* – бальнеологический и климатический курорт, самый южный в группе городов-курортов Кавказских Минеральных Вод. Находится в 38 км к юго-западу от Пятигорска, в 21 км от Ессентуков и в 64 км от станции Минеральные Воды Северо-Кавказской железной дороги.

В результате многолетних разнообразных исследований сложилось современное представление об условиях формирования и выхода на поверхность углекислых вод на площади, получившей название «Кисловодское месторождение нарзана». Кисловодские нарзаны принадлежат к бальнеологической группе углекислых вод и различаются между собой лишь по величине минерализации и соотношению основных ионов, что позволяет определить в них три основные группы.

К первой группе относятся источник Нарзан, скважина № 5/0-бис, а также воды Березовского и Подкумского участков. Слабоминерализованные (около 2 г/дм<sup>3</sup>) воды этой группы характеризуются сульфатно-гидрокарбонатным магниевым-кальциевым ионно-солевым составом с переменным содержанием ионов натрия. Используются для бальнеологических целей и розлива.

Вторую группу образуют воды типа Доломитного нарзана (скважина № 7,5/0,12), которые отличаются от вод первой группы большей минерализацией (около 5,0 г/дм<sup>3</sup>), в том числе за счет увеличения концентрации ионов натрия и хлора, и высоким содержанием углекислого газа (более 2,0 г/дм<sup>3</sup>). Используются в лечебных питьевых целях и подведены к бюветам Нарзанной галереи (скважина № 7) и Круглого бювета (скважины № 5/0 и 12).

Третья группа объединяет воды типа Сульфатного нарзана с минерализацией 5,2-6,7 г/дм<sup>3</sup>, преимущественно из-за более высокой концентрации сульфатов магния и натрия. Углекислые воды Подкумского и Ольховского участков (скважины № 5-НП, 115-Э, 115-бис) также принадлежат к сульфатному типу вод, но, в отличие от последних, в них сульфаты натрия преобладают над сульфатами магния. Вода источника № 5-НП подведена к Народному бювету (Аликоновская балка), а скважины № 115-Э и 115-бис – к санаториям Кисловодска «Сосновый бор» и «Радуга».

*Пятигорск* – бальнеологический и грязевой низкогорный курорт федерального значения, находится в 24 км от Минеральных Вод.

Пятигорск – курорт многопрофильный. Из группы курортов КМВ Пятигорск располагает наиболее разнообразными природными лечебными ресурсами... Имеется свыше 40 минеральных источников, отличающихся по химическому составу и температуре воды; некоторые из них родоновые. Близ Пятигорска добывают из Тамбуканского озера высокоценную в терапевтическом отношении сульфидную иловую грязь.

Природным музеем минеральных вод иногда называют Пятигорск за редкое разнообразие минеральных источников, сосредоточенных на небольшой площади вокруг горы Машук. В соответствии с современной классификацией минеральные воды Пятигорска объединяются в следующие бальнеологические группы: углекислые воды (горячие, теплые, холодные) – первый пятигорский тип; углекисло-сероводородные сложного ионно-солевого состава – второй пятигорский тип; радоновые воды – третий пятигорский тип; минеральные воды эссентукского типа (углекислые и углекисло-сероводородные) и, наконец, бальнеологическая группа вод «без специфических компонентов и свойств» (азотные термы, метановые воды с повышенным содержанием йода и брома, слабоуглекислая хлоридная натриевая вода типа Арзни).

*Железноводск.* Бальнеологический и грязевой курорт, самый живописный из четырех курортов, самый маленький и уютный город Кавминвод. Находится в 19 км к северу от г. Пятигорска, в 21 км от станции Минеральные Воды и в 6 км от ст.Бештау. Основными достоинствами курорта являются грязи, климат и минеральные воды. Из-за прекрасной экологии курорт называют маленькой Швейцарией. Бальнеолечебницы, санатории, грязелечебницы Железноводска являются самыми крупными и известными в Европе.

Железноводские источники расположены на небольшой площади вокруг горы Железной и по расположению на разных склонах горы объединяются в три основные группы: южную (точнее, юго-западную), восточную и северную. За последние 25 лет выведены источники также на северо-западном и западном склонах горы Железной, которые могут быть объединены в четвертую (западную) группу.

По газовому и ионному составу воды всех основных железноводских источников однотипны: углекислые сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые с минерализацией 3,0-3,7 г/дм<sup>3</sup> и содержанием углекислоты 0,7-1,4 г/дм<sup>3</sup>. По температуре

указанные воды делятся на высокотермальные (42°C), термальные (35-42°C), слаботермальные (20-35°C) и холодные (ниже 20°C).

Кроме того, на курорте выявлены не углекислые воды хлоридно-гидрокарбонатного натриевого состава с минерализацией 3,5-6,0 г/дм<sup>3</sup>.

*Курорт Эссентуки* – Северо-Кавказский курорт федерального значения по праву считается крупнейшим и наиболее популярным питьевым и бальнеологическим курортом нашей страны. Главные лечебные средства курорта – более двадцати источников минеральной воды.

Эссентукское месторождение в современных расширенных границах характеризуется значительным разнообразием лечебных типов минеральных вод. Но главное его богатство составляют углекислые гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды, или, как принято называть их на курорте, соляно-щелочные воды – широко известные Эссентуки № 17 и Эссентуки № 4. Кроме углекислых и углекисло-сероводородных соляно-щелочных вод на Эссентукском курорте для бальнеологических целей до недавнего времени использовались так называемые «серно-щелочные» воды Гаазо-Пономаревского источника и практически не углекислая маломинерализованная вода источника № 20, которая применялась в питьевых целях, а также для розлива в бутылки. В настоящее время вода этих источников не используется.

*Балатонфюред (Balatonfüred)*. Небольшой город Балатонфюред, с населением всего 14 000, известен далеко за пределами Венгрии, как главный кардиологический курорт страны.

Самые древние самоизливающиеся источники сосредоточены около Государственной кардиологической клиники Балатонфюреда. Один из источников неподалеку от клиники до сих пор носит название сыворотки – его воду смешивали с молоком овец и использовали для лечения заболеваний органов дыхания.

Низкоминерализованные (2,8 г/дм<sup>3</sup>) углекислые сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды (содержание свободной углекислоты около 1,3 г/дм<sup>3</sup>; температура 14-15°C), используются для ванн, питьевого лечения и других процедур.

*Марианские Лазне* – самый молодой курорт западной Чехии, находящийся в 45 км от Карловых Вар. В черте города бьют 40 минеральных источников, в окрестностях около ста. Все местные воды относятся к холодным водам. По своему химическому составу воды средне- и слабо-минерализованные, серногидроуглекислые сульфа-

тожелезистые. Содержат большое количество углекислого газа, магния и кальция.

*Ковасна* – национальный центр реабилитации кардиобольных. Бальнеогрязевой и климатический курорт лесной зоны на высоте 550—600 м над уровнем моря, в 31 км к востоку от города Сфынту-Георге, в 60 км от Брашова и 250 км от Бухареста. Курорт расположен на окраине города Ковасна в южной части Восточных Карпат. Основными лечебными факторами являются: углекислые воды 1500 источников мофеты, торфяная грязь. Углекислые хлоридные натриевые воды, гидрокарбонатные кальциевомагниево-мышьяковистые железистые воды различной минерализации ( $M$  от 3,2 до 22,4 г/дм<sup>3</sup>), содержание  $CO_2$ — 2,5 г/дм<sup>3</sup>. Мофеты слаборадиоактивные, содержат 80-92 %  $CO_2$ , а также гелий и радий. На курорте применяют климатотерапию, бальнеотерапию и питьевое лечение, «сухие» углекислые ванны (в специальных кабинах над мофетами).

### **Контрольные вопросы**

1. Какие воды относятся к лечебным углекислым (для внутреннего и наружного применения)?
2. Источники поступления углекислоты в подземные воды.
3. Перечислите основные типы месторождений углекислых вод.
4. Назовите характерные особенности минеральных вод подтипа Виши и их применение.

### ***Глава 2. Сероводородные (сульфидные) минеральные воды***

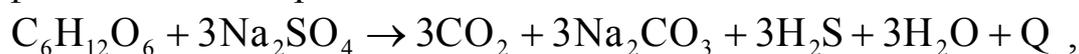
Сульфидными или сероводородными минеральными водами считаются воды, содержащие более 10 мг/дм<sup>3</sup> общего сероводорода. В зависимости от степени диссоциации сероводорода, то есть распада его на ионы при растворении, сульфидные воды подразделяются: 1) на собственно сероводородные, содержащие недиссоциированный сероводород; 2) гидросульфидные, содержащие преимущественно  $HS^-$ ; 3) гидросульфидно-сероводородные.

**Формы нахождения серы в сульфидных водах.** Сероводород представляет собой бесцветный ядовитый газ, образующийся при соединении S с  $H_2$ . Происхождение сероводорода связано с биогенным и химическим восстановлением сульфатных минералов, а также с маг-

матической деятельностью. В приповерхностных условиях магматический сероводород окисляется с образованием  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , сульфатов, сернистых металлов и самородной серы. Окисные соединения серы в благоприятной геохимической среде могут быть генераторами сероводорода.

Наиболее высокое содержание сероводорода установлено в подземных водах нефтегазоносных областей. Максимальные его концентрации в водах достигают 3500 – 10000 мг/дм<sup>3</sup>. 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 диссоциации.

Первые сведения о сульфатредуцирующих бактериях 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. Оптимальной для жизнедеятельности бактерий считается температура от 27 до 60°C, гидростатическое давление 370-400·10<sup>5</sup> Па. Отрицательное воздействие на жизнедеятельность бактерий оказывает высокое содержание в водах ионов кальция и магния.

Появление в водах  $\text{H}_2\text{S}$  приводит к формированию восстановительного барьера, в пределах которого образуются нерастворимые сульфиды тяжёлых 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.

Исключением является сернокислый сульфидный процесс образования биогенного сероводорода в зоне цементации сульфидных месторождений. Здесь  $\text{H}_2\text{SO}_4$  и сульфаты, поступающие из зоны окисления, взаимодействуют с первичными сульфидными рудами. В результате образуются сульфиды тяжёлых металлов и  $\text{H}_2\text{S}$ :



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



Установлен также процесс термохимического восстановления сульфатов углеводородами в условиях высоких температур (200-500°C) и давления более 100 Па.



Сероводород формируется в подземных водах как химическим, так и биохимическим путём, причём большое значение имеет процесс биохимического восстановления сульфатов.

- I. Хлоридные кальциевые, магниевые-кальциевые и натриево-кальциевые рассолы с общей минерализацией 350-600 г/дм<sup>3</sup>.
- II. Хлоридные натриевые.
- III. Хлоридно-сульфатные натриевые.
- IV. Сульфатные.
- V. Гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые и магниевые-кальциевые.
- VI. Хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) натриевые.

Для хлоридно-кальциевых рассолов, встреченных в Ангаро-Ленском и Припятском бассейнах, характерно высокое содержание H<sub>2</sub>S до 1-3 г/дм<sup>3</sup> и брома до 2-7 г/дм<sup>3</sup>. В связи с кислой реакцией (pH=4,5-6) в рассолах преобладает молекулярный сероводород.

Хлоридные натриевые сероводородные воды имеют наибольшее распространение на территории страны. Это месторождения Усть-Качка, Ишимбай, Красноусольск, Мацеста, а также Гаурдак и др. в Туркмении.

Хлоридно-сульфатные натриевые воды широко распространены в пределах Волго-Уральской области и Южно-Туранской плиты. Концентрация сероводорода в них достигает 200-900 мг/дм<sup>3</sup> (источник Ключи, Лючоб, Шугурово). Общая минерализация вод составляет 3-30 г/дм<sup>3</sup>.

Сульфатные и гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые магниевые-кальциевые воды имеют развитие в Прикарпатье (Месторождения Немиров, Шкло, Любень Великий), в Поволжье (Сергиевские мине-

ральные воды), на Кавказе (месторождения Тамиск и Гагра) и в Прибалтике (Кемери). Содержание сероводорода составляет 29-400 мг/дм<sup>3</sup>. Общая минерализация не превышает 5 г/дм<sup>3</sup>.

Хлоридно-гидрокарбонатные (гидрокарбонатно-хлоридные) воды имеют ограниченное распространение на Кавказе (Предкавказье и Апшеронский полуостров), на Керченском полуострове, в Молдавии и Средней Азии. Концентрация сероводорода от 20 до 300 мг/дм<sup>3</sup>. Воды малой и средней минерализации. По содержанию в сульфидных водах биологически активных веществ среди них выделяют монокомпонентные, бикомпонентные и поликомпонентные.

Основные факторы формирования и распространения сульфидных 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. Эти геологические структуры часто характеризуются нефтегазоносностью. Основные формации прогибов и впадин – молассы (песчано-глинистые и карбонатные), флиши и эвапориты. Возраст осадков от  $\epsilon$  до KZ. Геохимическая обстановка водоносных горизонтов с сероводородными водами – восстановительная и резковосстановительная.

Среди крепких и очень крепких сероводородных вод преобладают холодные с температурой до 20°C (Волго-Уральская, Ангаро-Ленская и др. области).

Тёплые и очень горячие сероводородные воды Серноводские (50°C), Сухуми (29°C).

Для поисков новых месторождений сероводородных вод перспективны нефтегазоносные бассейны краевых прогибов и впадин платформ, межгорных впадин горно-складчатых областей, распространения гипсов и ангидритов. Сероводородные воды широко используются в бальнеологии: Мацеста, Кемери, Усть-Качка и др.

*Мацеста*, бальнеологическая курортная местность в Хостинском районе Большого Сочи, в восьми километрах к юго-востоку от железнодорожного вокзала, в долине реки Мацеста.

Главный лечебный фактор Мацесты – сероводород. Проникая через кожу и дыхательные пути в организм, он воздействует на клеточные и тканевые структуры и способствует рассасыванию остатков воспалительных процессов, в особенности в тех областях, где и у здоро-

вых людей кровотоков осуществляется с трудом – в суставных и межпозвоночных хрящах, сухожилиях, костях и т. д.

Воды Мацесты относятся к термальным, их температура достигает 18-67°C. Они богаты сульфидным хлоридным натрием, содержат большое количество йода (12 мг/дм<sup>3</sup>), брома (70 мг/дм<sup>3</sup>), радона и другие ценные элементы и используются в основном для ванн, орошений, ингаляций при заболеваниях органов кровообращения, центральной и периферической нервной системы, опорно-двигательного аппарата.

*Сергиевские Минеральные Воды.* В ста двадцати километрах от Самары, на юго-западном склоне Серноводской возвышенности, недалеко от реки Сургут расположен санаторий «Сергиевские Минеральные Воды». Главная достопримечательность санатория – Серное озеро. Его питают четыре сероводородных источника, бьющие из известково-доломитовых пород. Вода его имеет необычный бирюзовый цвет с различными оттенками. Основным естественным фактором лечения на курорте является сероводородная гидрокарбонатно-магниево-кальциевая вода средней концентрации. Вторым основным источником лечения является иловая грязь местных озер. В ней содержится чуть ли не вся таблица Менделеева, гормоно-, антибиотико- и биологически активные вещества. Именно их действием объясняется активность физико-химического и биологического действия сульфидной грязи.

*Приморское, Абхазия.* В 7 км от курорта Новый Афон в сторону города Гудаута на берегу моря расположено село Приморское. В 1940 году в Приморском в результате бурения были выведены на поверхность несколько источников минеральной воды. На месте одного из естественных выходов воды на поверхность сооружена небольшая лечебница. Содержание сероводорода в минеральной воде «Приморское» – 1,9 г/см<sup>3</sup>. Это сульфидная, азотная, магниево-кальциевая вода нейтральной реакции – рН – 7,0, температура на изливе 47°C. Общая минерализация – 6,0 г/дм<sup>3</sup>.

*Баден, Австрия,* обязан своим возникновением горячим сероводородным термальным источникам. Это климатический термальный курорт-водолечебница прямо «под боком» у Вены.

*Бэиле-Еркулане.* Бальнеологический курорт в Румынии, в 40 км к северу от г. Турну-Северин. Лечебные средства: минеральные источники термальных (температура 24-50°C) хлоридно-натриево-кальциевого типа вод с содержанием сероводорода (46 г/дм<sup>3</sup>), приме-

няемых для ванн, ингаляций и орошений; вода некоторых источников (с небольшим содержанием сероводорода) для питья.

*Ахен.* Немецкий бальнеолечебный курорт Ахен расположен в северных отрогах возвышенности Высокий Фенн на высоте 140 метров.

На малой площади здесь расположены 38 термальных источников, из которых наиболее известны сероводородные термальные воды, температура которых достигает 45-56°C. Наряду с ними широко используют хлоридно-натриевые и кальциевые минеральные воды температуры 75°C. Термальные источники Ахена являются самыми горячими в Центральной Европе.

### Контрольные вопросы

1. Назовите главные компоненты сульфидных вод.
2. Источники поступления сероводорода в подземные воды.
3. Сколько выделено типов сероводородных вод?
4. Назовите основные курорты сероводородных вод.

### Глава 3. Радоновые воды

Радиоактивные (радоновые) минеральные воды – природные или искусственно приготовленные, содержат радиоактивный химический элемент – радон.

Их относят к лечебным, если радиоактивность радона в них превышает **185 Бк/л** (Беркли-кюри на литр).

Радиоактивны также подземные воды, содержащие более  $1 \cdot 10^{-5}$  г/дм<sup>3</sup> урана и более  $1 \cdot 10^{-11}$  г/дм<sup>3</sup> радия.

Radon (Rn) – элемент VIII группы 6 периода Периодической системы элементов Д.И. Менделеева, порядковый номер 86, относится к инертным газам. Открыт в 1900 г. Наиболее долгоживущий изотоп <sup>222</sup>Rn, период полураспада равен 3,8 суток, образуется в результате альфа-распада <sup>236</sup>Ra (по которому и получил свое название).

Радон представляет собой в обычных условиях одноатомный газ, хорошо растворяющийся в воде. При температуре 400° С образует устойчивые соединения с фтором.

В природе встречаются три изотопа: радон 222/86 Rn, торон 220/86 Tn и актинон 218/86 An. Период полураспада основного изотопа 3,825 суток.

**Источники поступления радиоактивных элементов в природные воды.** Радон образуется в процессе радиоактивного распада семейства урана-радия. Rn (старое название – эманация) представляет собой инертный газ. Он при обычных условиях не вступает в химические реакции и подчиняется законам, установленным для газов.

Повышение температуры подземной воды приводит к усиленной её дегазации, коэффициент растворимости радона в ней уменьшается. Радон выносится выделяющимися из воды газами. Чем интенсивнее газовыделение, тем больше теряется радона. Особенно это относится к углекислым термальным водам, содержащим радон.

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

Продукты распада радия, радона и их изотопы находятся в капиллярах пород и минералов, частично в растворе, частично на стенках капилляров в сорбированном состоянии. Переход Rn из капилляров в воду называется миграцией второго порядка.

**Условия формирования и распространения радоновых вод.** Степень обогащения подземных вод радоном зависит от многих факторов, основным среди которых является содержание уранорадиевой минерализации в породах.

Большой интерес представляют радоновые воды, формирующиеся в тектонических трещинах в зонах дробления кислых магматических пород. 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 глубинной циркуляции развиты термальные радоновые воды, обогащенные кремнекислотой и микроэлементами.

Концентрация радона в трещинно-жильных водах кислых магматических пород не превышает 370 Бк/л. На участках тектонических разломов, обогащенных радиоактивными элементами, формируются радоновые воды средней концентрации,  $Rn=1480-7400$  Бк/л, и высоко-радоновые воды,  $Rn>7600$  Бк/л. На участках приподнятых геологических структур (щиты, массивы, антиклинальные поднятия) условия формирования радоновых вод более благоприятные, чем в пределах

впадин, прогибов и синклиналей. Наибольшее число месторождений радоновых вод известно в выходах на поверхность кристаллического фундамента – это Балтийский, Украинский, Алданский щиты, а также древние горно-складчатые сооружения и кристаллические массивы Урала, Казахстана, Тянь-Шаня, Забайкалья и др.

Содержание радия и урана в горных породах различно. В пегматитах накопление урана происходит в виде урансодержащих минералов. В осадочных отложениях наибольшие количества радия и урана установлены в морских фосфоритах и углеродосодержащих морских черных сланцах. Накопление повышенных содержаний радиоактивных элементов отмечается и в других осадочных отложениях, обогащенных органикой: песчаниках, алевролитах, конгломератах, а также сланцах. Гидрогеологические условия играют существенную роль в обогащении вод Rn. 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.

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

В.В. Иванов и Г.А. Невраев разработали классификацию радоновых лечебных вод по концентрации радона:

- 1) слаборадоновые от 185 до 1480 Бк/л,
- 2) среднерадоновые от 1480 до 7400 Бк/л,
- 3) высокорадонные >7400 Бк/л.

На карте минеральных лечебных вод СССР масштаба 1:4000000 (под редакцией В.В. Иванова, 1968) выделена провинция радоновых кислородно-азотных вод массивов кислых кристаллических пород. В настоящее время известно распространение радоновых вод в эффузивных, метаморфических и осадочных породах. Наиболее обогащены радиоактивными элементами терригенные угленосные осадки, торфяники, фосфориты и битуминозные карбонатные породы, однако содержание радона в них редко превышает 1480 Бк/л.

В лечебных целях для ванн обычно используются воды с содержанием радона 1480-3000 Бк/л, которые в природе встречаются довольно редко. Среди радоновых вод наибольшую ценность имеют обогащенные углекислотой, кремнекислотой и другими биологически активными компонентами.

Наибольшее количество месторождений радоновых вод известно в Карелии, на Урале, Тянь-Шане, в Туве, Забайкалье, а также в странах ближнего зарубежья – на Украине, в Казахстане. Широко известны радоновые воды курортов Цхалтубо (Грузия), Белокурихи (Забайкалье), Пятигорска (Минводы) и др.

При поисках радоновых вод работы проводятся по следующим стадиям:

1. Поисково-рекогносцировочные радиогидрологические исследования.
2. Стадия поисковых исследований.
3. Детальные радиогидрологические исследования.
4. Разведка месторождений.

*Яхимов, Чехия.* Первый в мире радоновый курорт Яхимов расположен в 130 км от чешской столицы и всего в 17 км от Карловых Вар, на высоте 650 м над уровнем моря.

Главное целебное богатство курорта — бикарбонат-натриево-термальные минеральные воды с естественной радиоактивностью. Кроме высокого содержания радона, местная минеральная вода также может похвастать наличием редких элементов — молибдена, титана и бериллия. Благодаря этим обстоятельствам курорт рекомендуется как исключительно эффективное место для лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата различной этиологии и степени сложности.

*Бад Гаштайн, Австрия.* Курорты долины Бад Гаштайн и Бад Хофгаштайн принадлежат к одним из самых известных в Австрии. Расположены на высоте 858-1002 м над уровнем моря в глубине долины

Гастайн, что в 97 км от города Зальцбург. Глубокая долина, со всех сторон окруженная заснеженными Альпами. На территории курортов находятся 18 радоновых источников, с температурой воды +47°C, радоновые штольни. Комбинация естественного излучения радона ( $44 \text{ kBq/m}^3$ ), тепла (37-41,5°C) и влажности воздуха (70-100%) делает лечебные штольни Гаштайна интенсивным и эффективным средством лечения.

*Бад Кройцнах, Германия.* Уже 2000 лет известны соляные источники Долины солеварен Залиненталь (Salinental) около Бад Кройцнаха. 200 лет служат эти источники лечению и смягчению болезней. Наличие таких лечебных средств, как минеральные воды и радон, превращают Бад Кройцнах в один из крупных оздоровительных центров, прежде всего при лечении ревматических заболеваний.

Основными достопримечательностями являются:

Долина йодно-солевых источников – крупнейший в Европе естественный ингаляторий Залиненталь;

Многочисленные минеральные и радоновые источники и радоновые штольни.

### **Контрольные вопросы**

1. Что собой представляет радон и в чем измеряется его концентрация в подземных водах?
2. Основные факторы формирования радоновых вод.
3. Перечислите районы распространения радоновых минеральных вод.
4. Назовите типы вод по концентрации радона.

### ***Глава 4. 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, В и т.д.).

Кремнистыми термами принято считать минеральные воды, содержащие  $\text{H}_2\text{SiO}_3 + \text{HSiO}_3^-$  – более  $50 \text{ мг/дм}^3$  с температурой выше 35°C.

По концентрациям кремниевой кислоты выделяют три подгруппы минеральных вод:

- ♦ кремнистые  $50-100 \text{ мг/дм}^3$ ;
- ♦ высококремнистые  $100-150 \text{ мг/дм}^3$ ;

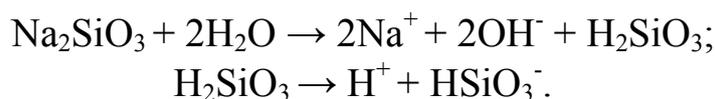
- ♦ очень высококремнистые  $> 150 \text{ мг/дм}^3$ .

Наибольшие концентрации кремниевой кислоты наблюдаются в термальных и высокотермальных водах.

**Образование кремнекислоты.** Кремнистые соединения составляют более половины всей массы земной коры. Наиболее распространены среди них кварц и силикаты. Среди магматических пород наибольшее количество кремнезёма, до 71%, содержат кислые породы (граниты, липариты и др.). В глинах и сланцах содержится 50-58% кремнезёма.

В подземные воды кремнезём попадает в результате растворения кремнесодержащих пород и из вулканических эксгаляций. Наиболее растворим аморфный кремнезём. Особенностью растворов кремнезёма является способность образовывать коллоиды, однако преобладающей формой миграции кремнезёма в природных подземных водах являются истинные растворы.

Процесс обогащения вод кремнекислотой происходит по следующей схеме:



Образование коллоидной формы происходит в пересыщенных кремнезёмом термальных водах. Главный фактор, определяющий растворимость кремнезёма в воде, – её температура. Самое высокое содержание кремнезёма установлено в глубокопогруженных (до 3 км) водоносных горизонтах краевых прогибов, а также в области молодой и современной вулканической деятельности.

Установлено, что растворимость кремнезёма повышается в щелочных растворах, содержащих соли натрия. Присутствие солей К, Са и Mg также способствует растворению кремнезёма, но в меньшей степени. Это объясняется тем, что в щелочной среде наиболее легко протекают реакции с образованием легкорастворимого  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ . При  $\text{pH}=9$  растворимость кремнезёма резко возрастает, так как он начинает диссоциировать. Воды с низким значением pH также являются хорошими растворителями кремнезёма и его соединений. Высокие концентрации кремнезёма (до  $100 \text{ мг/дм}^3$ ) присущи сильнокислым рудным водам.

Наличие в минеральных водах углекислоты способствует переходу кремнезёма в раствор. Присутствие в водах F, Al приводит к разру-

шению полимерных форм кремнезёма и способствует удержанию его в растворах.

В кремнистых термах кремнезём содержится в трех основных формах: в виде молекулярной кремниевой кислоты (метакремниевой  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  и ортокремниевой  $\text{H}_2\text{SiO}_4$ ), гидроксилат-иона  $\text{HSiO}_3^-$  и в коллоидной форме в виде высокодисперсного золя. Наиболее вероятной формой нахождения молекулярной кремниевой кислоты в водах считается  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ .

**Условия формирования и распространения кремнистых терм.** Кремнистые термы известны в областях современного и молодого вулканизма, в активизированных зонах древних платформ и горноскладчатых областей, а также в пределах молодых платформ. Как отмечали А.М. Овчинников и Н.И. Толстихин, выходы терм приурочены обычно к молодым глубинным разломам. Особенно широко развиты кремнистые термы в зоне альпийской складчатости и по её периферии, где имеются благоприятные условия для проникновения атмосферных осадков и разгрузки напорных терм по зонам разломов.

Геологические закономерности распространения терм сводятся к следующему: 1) распространены в области современного горообразования и высокой сейсмичности; 2) приурочены в основном к изверженным и метаморфическим породам; 3) выходы терм на поверхность чаще всего связаны с разломами глубинного заложения.

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 А.И. Дзенс-Литовским, Н.И. Толстихиным, Р.В. Ивановым и др. исследователями выделена провинция азотных и других термальных вод, охватывающая южную и восточную часть территории бывшего СССР. Она по площади совпадает с зоной новейшего горообразования (неоген-четвертичного возраста).

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 бывшего СССР выделено 9 областей развития кремнистых терм.

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

2. Копетдагская область.

3. Центрально-Памирская область, включающая область р. Гунт и прилегающие к ней 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. Буреинско-Охотская область, включающая обширные пространства 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.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятия «кремнистые термы».
2. Механизм насыщения подземных вод кремнекислотой.
3. Приуроченность кремнистых терм к определенным геологическим условиям.
4. Назовите основные области проявления кремнистых терм исходя из геолого-структурных, геотермических и гидрохимических условий.

## **Глава 5. Минеральные воды, содержащие специфические компоненты: бромные и йодные, с повышенным содержанием органических веществ, железистые, мышьяковистые и боросодержащие (бороносные)**

### **5.1. Йодобромные лечебные минеральные воды**

Йодобромные более подробно рассмотрим при изучении подземных промышленных вод.

В лечебном отношении представляют интерес воды с относительно меньшей минерализацией, но большим содержанием Br и I (то есть с меньшим отношением Cl/Br и Cl/I). Йодные и йодобромные воды применяются в первую очередь как питьевые минеральные воды, а также используются для лечебных ванн, бассейнов и других наружных процедур.

Йодобромными считаются такие воды, которые содержат не менее 5 мг/дм<sup>3</sup> йода и не менее 25 мг/дм<sup>3</sup> брома при минерализации для хлоридных вод до 10-15 г/дм<sup>3</sup>.

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

В составе других морских организмов йод находится в виде органических комплексных соединений. Высокие содержания йода наблюдаются в подземных водах нефтегазоносных бассейнов, при этом основным источником йода является не нефтяная залежь, а органические вещества водовмещающих пород.

А.В. Кудельский считает, что с увеличением геологического возраста отложений содержание йода в подземных водах уменьшается и в среднем составляет: в водах кайнозойских отложений – 33,1 мг/дм<sup>3</sup>, мезозоя – 18,4 мг/дм<sup>3</sup>, палеозоя – 9,5 мг/дм<sup>3</sup> и докембрия – 7,6 мг/дм<sup>3</sup>.

Бром характеризуется высокой растворимостью в воде. Основное его количество накапливается в морских и океанических водах. Наиболее высокое содержание брома (0,1-8,5 г/дм<sup>3</sup>) наблюдается в зонах соленых озер. Большинство исследователей считают, что накопление брома происходит в процессе галогенеза, то есть испарительного концентрирования солей, а обогащение подземных вод бромом – в основном за счет растворения погребенных маточных рассолов.

## **Условия формирования и распространения йодобромных вод.**

В пределах молодых горно-складчатых структур развиты сильно минерализованные углекисло-кремнисто-мышьяковисто-йодные, йодобромные и бромные воды.

*Йодные воды*, не содержащие других биологически активных компонентов, имеют ограниченное распространение. Они выделены в Усть-Двинской впадине и в четвертичных бореальных отложениях, богатых морскими водорослями, содержащими йод вдоль побережья Белого моря. Воды хлоридно-натриевые с минерализацией до  $14 \text{ г/дм}^3$  с содержанием йода до  $26 \text{ мг/дм}^3$ .

*Бромные воды* и рассолы, в отличие от йодных, имеют очень широкое распространение. Они развиты на большей части Восточно-Европейской платформы, в Северо-Двинском бассейне, на юге Тиманского кряжа в Печорском бассейне.

В восточной половине Московского и прилегающего к нему с востока Волго-Камского и Сурско-Хоперского артезианских бассейнов (курорты Валдай, Монино, Сборная) содержание брома до  $1500 \text{ мг/дм}^3$ .

В Поволжье бромные воды распространены почти повсеместно.

В Пермском крае вплоть до восточной границы Предуралья прогиба ультракрепкие бромные рассолы содержат до  $1800 \text{ мг/дм}^3$  брома.

*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 (месторождения Майкопское, Ходыженское, Грозненское, Георгиевское). Воды имеют минерализацию от  $5$  до  $25 \text{ г/дм}^3$  с содержанием йода до  $50 \text{ мг/дм}^3$ , брома – до  $110 \text{ мг/дм}^3$ . В районе Кавказских минеральных вод распространены хлоридные натриевые йодобромные воды с минерализацией  $20-35 \text{ г/дм}^3$  (Пятигорск, Ессентуки и др.), с содержанием йода до  $12$ , а брома  $70 \text{ мг/дм}^3$ . На Черноморском побережье (Кудепстинское месторождение) йодобромные воды имеют минерализацию  $20-24 \text{ г/дм}^3$  с содержанием йода  $28-30 \text{ мг/дм}^3$ , брома  $70-72 \text{ мг/дм}^3$ . В Пермском крае (как отмечают И.Н.Шестов, А.В. Шурубор, 1994 г.) йодобромные воды распространены на всей территории. Они стали использоваться с 1943 г. для лечения труднозаживающих ран в госпиталях г. Краснокамска, а в 1951 г. на курорте «Усть-Качка» была пробурена первая скважина для получения

йодобромных рассолов. Глубина ее была около 1500 м, минеральные воды получали из терригенных отложений визейского яруса нижнего карбона.

*Курорт Дарков (Darkov)* находится на северо-востоке Чехии. Йодобромная вода, являясь доминантой лечения в курорте «Дарков», применяется в большинстве бальнеологических процедур. Йодобромная вода добывается из глубины 500–1100 метров непосредственно на территории курорта «Дарков». Затем она отстаивается в течение двух-трех недель, после чего ее нагревают до температуры +36°C и применяют для лечения. Она эффективна при лечении опорно-двигательного аппарата (в том числе посттравматические и постоперационные состояния на опорно-двигательном аппарате), неврологических, сердечно-сосудистых, а также хронических заболеваний дыхательных путей, гинекологических заболеваний, состояниях после ожогов. Вода применяется в виде ванн, бассейна и аппликаций.

*Хадыженские минеральные воды.* В межгорной котловине предгорий Северо-Западного Кавказа, в долине реки Пшиш раскинулся город Хадыженск. Хадыженская йодобромная вода добывается с глубины 580 метров. Вода имеет общую минерализацию 12,5 г/дм<sup>3</sup> и не нуждается в разведении, в связи, с чем сохраняется первоначальная концентрация йода, брома и хлора. Для приготовления искусственных йодобромных ванн за основу принимается химический состав Хадыженского источника

Йод и бром попадают в организм человека через кожу, слизистые оболочки и оказывают существенное влияние на тканевые среды, принимают участие в обменных процессах. Йод оказывает нормализующее влияние на функцию щитовидной железы. Бром вызывает нормализацию процессов нервной регуляции, усиливая процессы торможения. Хадыженские йодобромные воды оказывают мягкое щадящее действие на сердечно-сосудистую систему, что позволяет более широко применять их больным пожилого возраста.

*Старая Русса.* Жемчужиной северо-запада России называют Новгородский край. В ста километрах от Господина Великого Новгорода находится город Старая Русса. У курорта «Старая Русса» немало «изюминок», которые делают его неповторимым. Символом и украшением курорта является самый мощный самоизливающийся минеральный фонтан в Европе – Муравьевский.

Курорт «Старая Русса» функционирует с 1828 года. Он возник на месте естественной разгрузки напорных высокоминерализованных вод. Эти воды с глубокой древности использовались в целях солеварения (одна из существующих скважин, №4, датируется 1370 годом). При добыче соли были замечены и их лечебные свойства.

### *5.2. Воды, обогащенные органическим веществом*

Среди вод этого типа наиболее изучены воды «Нафтуся» курорта Трускавец в западной Украине. Эти воды слабоминерализованные, и в качестве основного показателя в них принимается 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 водам типа «Нафтуся» относятся слабоминерализованные воды ( $0,3 - 1,0 \text{ г/дм}^3$ ) гидрокарбонатные различного катионного состава с низким газосодержанием (до  $100 \text{ мг/дм}^3$ ), в которых в качестве бальнеологически активного компонента содержится  $10 - 20 \text{ мг/дм}^3$  органических веществ  $C_{\text{орг.}}$ . К водам типа «Нафтуся» кроме трускавецких отнесены воды Ундорского источника в Ульяновской области; Обуховская минеральная вода в Свердловской области. Установлено, что валовое содержание органических веществ в этих водах составляет  $8,35 - 23,8 \text{ мг/дм}^3$  (в пересчете на органический углерод). Остальная часть органики определяется как нестабильная. Органические вещества «Нафтуси» – это битуминозные вещества, смолы, гуминовые вещества. Количество нефтепродуктов в воде «Нафтуся» при ее хранении в условиях комнатной температуры уменьшается в течение 4 суток в 10 раз по сравнению с первоначальным.

Формирование вод этого типа происходит в зоне интенсивного (неглубокого) водообмена в условиях активного взаимодействия инфильтрационных вод и вмещающих пород, обогащенных органическим веществом.

Минеральные воды с повышенным содержанием органических веществ известны также в Краснодарском крае, в Азербайджане (Калаалты и Тенгиалты) и Восточной Сибири.

В Азербайджане на месторождении «Нафталан» при отстаивании термальных, гидрокарбонатно-хлоридных вод с минерализацией  $10 \text{ г/дм}^3$  получают лечебную нефть для ванн.

*Ундорское месторождение.* Ундоры расположены всего в 35 км от областного центра – Ульяновска. Около него наблюдается одиннадцать самоизливающихся источников лечебно-минеральных вод с общим ежесуточным дебитом более 450 куб. м, что послужило причиной для развития одной из курортных зон России. На сегодняшний день этот курортно-оздоровительный комплекс включает 135 учреждений, из которых 12 санаториев, 30 домов и баз отдыха и 84 туристические базы.

В административном отношении исследуемая территория относится к Волго-Уральской области. Ундоровские минеральные источники расположены на правом берегу реки Волги у села Ундоры в Черталинском, Малиновом и Городищенском оврагах. Формироваться они начинают в районе Бессоновских и Тархановских лесов Татарстана, где дождевые и талые воды, проникая в юрские породы, начинают стекать в юго-западном направлении. Проходя через глауконитовые песчаники и битуминозные сланцы, вода вымывает минеральные и органические вещества, превращаясь в лечебную. Главная составляющая ундорской воды – подземные воды волжского терригенного комплекса, фильтрующиеся по трещинам «сланцевой плиты» древнего юрского возраста. Сланцы насыщены окаменевшей фауной, битуминизированы, вода, проходя через них, насыщается органикой. Недалеко от места разгрузки вода волжского комплекса смешивается с подземными водами неоген-четвертичного комплекса и с поровым раствором из готеривских глин, обогащаясь за счет этого дополнительными компонентами.

Ундоровская слабоминерализованная вода, выходящая из пластов горных сланцев, относится к гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-магниевому типу. В ее составе повышено содержание органических веществ и более 20 микроэлементов. Кроме минеральных самоизливающихся источников в Ундорах широко используют добываемые из глубинных скважин хлоридно-натриевые рассолы, обогащенные йодом и бромом.

*Трускавецкое месторождение* располагается на Украине в предгорье Восточных Карпат в 100 км от г. Львова. Воды месторождения представляют собой хлоридные натриево-кальциевые рассолы с минерализацией от 150 до 380 г/дм<sup>3</sup>, закономерно увеличивающейся с глубиной. Лишь в зоне Оболоня — Ольховка в складчатых структурах, залегающих на глубине 900-2700 м, встречены гидрокарбонатные на-

триевые воды с минерализацией 40-90 г/дм<sup>3</sup>. Содержание брома в водах в зависимости от минерализации колеблется от 40-90 до 1200 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация иода не связана с минерализацией и меняется от 15 до 35 мг/дм<sup>3</sup>. В подземных водах района Борислава, Улично, Воли Блажевской и Ольховки количество стронция варьирует от 30 до 1362 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальное содержание его характерно для высокоминерализованных вод Бориславского (1362,5 мг/дм<sup>3</sup>) и Битковского (1275,25 мг/дм<sup>3</sup>) нефтяных месторождений, наименьшее — для зоны Струтынь — Ольховка, в пределах которой оно чаще всего составляет 30-100 мг/дм<sup>3</sup> и редко возрастает до 260-320 мг/дм<sup>3</sup>.

### 5.3. Железистые воды

В железистых водах по ГОСТ 13273-88 содержание биологически активного Fe должно составлять не менее 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Железо необходимо для построения клеток организма, переноса кислорода. Оно представляет собой основной катализатор дыхательных процессов и образования гемоглобина. В организме человека содержится около 3 г железа, из которых 75% входит в состав гемоглобина. Суточная потребность в железе 10 мг у мужчин и 18 мг у женщин.

По содержанию железа Fe<sup>2+</sup> + Fe<sup>3+</sup> мг/дм<sup>3</sup> минеральные воды разделяются на три группы:

- ◆ железистые 10-40 мг/дм<sup>3</sup>;
- ◆ крепкие железистые 40-100 мг/дм<sup>3</sup>;
- ◆ очень крепкие железистые >100 мг/дм<sup>3</sup>.

**Образование железа.** Железо – самый распространенный после алюминия элемент в земной коре. Основная масса в горных породах находится в двухвалентной форме Fe<sup>2+</sup>. Наиболее богаты железом ультраосновные породы – 9,85%. Наиболее важными минералами, содержащими железо, являются магнетит Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, лимонит Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O, сидерит FeCO<sub>3</sub>, гематит Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, пирит FeS<sub>2</sub>, марказит FeS<sub>2</sub>, шамозит и др.

Двухвалентное железо при разрушении минералов под влиянием H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и воды переходит в виде бикарбоната в раствор и мигрирует с подземными водами. Под воздействием кислорода Fe<sup>2+</sup> переходит в Fe<sup>3+</sup>, а его соединения гидролитически расщепляются в кислых растворах.

Железо может также мигрировать в форме сульфата, гуминовых соединений, коллоидных растворов и механических взвесей.

**Химический состав железистых вод.** Железистые воды подразделяются на сульфатные (купоросные) и гидрокарбонатные. Сульфатные – кислые рудничные воды, содержащие до нескольких граммов железа и других металлов (алюминия, меди, цинка) в одном литре. Железо может находиться как в закисной, так и в окисной форме.

Железистые воды распространены на локальных участках, несмотря на широкое развитие железорудных пород. Условия их формирования определяются резко окислительной или восстановительной обстановкой. Повышенное содержание железа характерно также для отдельных источников углекислых и фумарольных вод. Наиболее ценными являются углекислые железистые воды. Месторождения их выявлены в районах Малого Кавказа, Саян, Забайкалья и Приморья. Они приурочены к зонам разломов и трещинно-пластовым горизонтам впадин. Большая группа железистых вод связана с процессами окисления пород, обогащенных сульфатами металлов. Сульфатные железистые воды встречаются в пределах угленосных бассейнов: Московского, Донецкого, Кузнецкого и др. Фумарольные железистые слабокислые термы встречаются в районах современного вулканизма ( $\text{pH} < 3$ ). Они отличаются наличием свободной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$ -анионами и сложным катионным составом. Фумарольные железистые термы содержат вулканические газы ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{HBO}_3$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{He}$  и др.) и интенсивно выщелачивают железо из вмещающих пород. Содержание железа в этих термах достигает  $1 \text{ г/дм}^3$ .

Месторождения: Полюстрово, Славяногорск, оз. Медвежье (Курганская обл.), Красные Камни, Раздан (Армения), Парамушир.

*Спа, Бельгия* (Spa, население 10500) – родоначальник всех спа-курортов в мире, находится к юго-востоку от города Льеж в Арденнах. Основная достопримечательность минеральная питьевая вода – железистая ( $55\text{-}112 \text{ мг/дм}^3$  гидрокарбоната железа), богатая углекислотой.

*Франтишковые Лазне, Чехия* — третий по значимости лечебный курорт Чехии, расположенный в 180 км от Праги недалеко от границы с Германией. Минеральные источники Франтишковых Лазней, ввиду высокого содержания в воде углекислого газа, называются источниками кислой минеральной воды. Во Франтишковых Лазнях на поверхность выходит 21 источник минеральной воды с повышенным содержанием углекислого газа.

Часть источников используется в лечебных целях для ванн и питья, средняя температура воды в них 9-11 °С. Дополнительно в лечебных целях используется сухой газ, который применяют для газовых уколов, а также серно-железистая грязь, которая используется для грязелечебных ванн.

*Крыница Морска* – курорт Польши, расположенный на Вислинской косе, с прекрасным широким пляжем в окружении лесистых дюн. Город находится неподалеку от Калининградской области России, где она носит название Балтийской косы. Природные целебные ресурсы: вода «Ян» (0,07%) из минерального источника, воды «Мечислав» и «Слотвинка» (0,43%), бикарбонатно-кальциевые, магниевые, железистые источники, лечебные грязи. На курорте разливают лечебные воды «Ян», «Зубер» и «Слотвинка».

*Санаторий «Дворцы»* расположен на территории первого российского курорта «Марциальные воды», открытого в 1719 году царем Петром I в 54 км от Петрозаводска (столица Карелии).

Уникальность курорта «Марциальные воды» заключается в удачном сочетании трех лечебных факторов:

– железосодержащая минеральная вода, не уступающая по своим свойствам минеральным водам всемирно известных курортов Спа, Пирмонта, Эвиана, Марианских и Франтишковых Лазней;

– лечебная сапропелевая грязь озерно-ключевого происхождения озера Габозеро;

– целебный климат, сформировавшийся благодаря залежам шунгита и благоприятствующий длительному пребыванию отдыхающих на открытом воздухе в течение всего года.

#### 5.4. Мышьяковистые (мышьяковые) воды

Эти воды содержат не менее 0,7 мг/дм<sup>3</sup> биологически активного мышьяка. По содержанию мышьяка минеральные воды подразделяются на три группы:

- ♦ мышьяковистые 0,7-5,0 мг/дм<sup>3</sup>;
- ♦ крепкие мышьяковистые 5,0-10,0 мг/дм<sup>3</sup>;
- ♦ очень крепкие мышьяковистые >10,0 мг/дм<sup>3</sup>.

*Образование мышьяка.* Мышьяк (As) образует целый ряд соединений с серой. Наибольшее содержание мышьяка обнаружено в осадочных породах. Среди 140 мышьяксодержащих минералов преобла-

дают сульфиды, сульфоарсенаты, арсенаты, арсениды. Также мышьяк содержится в породах в виде изоморфных примесей и органических соединений.

Мышьяк в минеральных водах встречается в виде мышьяковистой  $H_3AsO_3$  и мышьяковой  $H_3AsO_4$  кислот и продуктов их диссоциации. Катион мышьяка может встречаться только в кислых водах при  $pH < 3$ .

Химический состав мышьяковистых вод:

1) углекислые мышьяковистые различного ионного состава и минерализации;

2) кислые «купоросные» воды сульфатного или хлоридно-сульфатного состава, обогащенные мышьяком, железом и другими металлами (алюминием, медью, свинцом, цинком и т.д.).

Повышенное содержание мышьяка установлено также в отдельных источниках кремнистых терм, фумарольных терм, бромных и йодобромных вод.

Углекислые мышьяковистые воды имеют наибольшее бальнеологическое значение. Они используются для лечения нервной системы, анемии, заболеваний кожи, сердечно-сосудистой системы, опорно-двигательного аппарата, нарушений функций яичников, заболеваний желудочно-кишечного тракта.

Углекислые мышьяковистые воды формируются в областях молодого и современного вулканизма (Карпаты, Кавказ, Сахалин, Камчатка, Курилы).

Очень крепкие мышьяковистые воды Синегорска, Дарыдага, Горной Тиссы формируются в песчано-глинисто-мергелистых толщах, обогащенных бромом (до  $60 \text{ мг/дм}^3$ ) и йодом до  $17 \text{ мг/дм}^3$ .

Кислые «купоросные» мышьяковистые воды формируются в зоне окисления месторождений сульфидов.

### *5.5. Боросодержащие (бороносные) воды*

К ним 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 обладает антимикробными свойствами и способствует лечению кожных заболеваний, однако потребление с водой больших

концентраций бора до 3 г/сут может вызвать заболевание желудочно-кишечного тракта и легких.

*Образование бора.* Бор (В) относится к числу рассеянных элементов. Осадочные породы (особенно морские) богаче бором, чем магматические. Обычные соединения бора – соли борной кислоты – образуют ряд борных минералов:

- 1) боросиликаты, алюмосиликаты;
- 2) бораты из первой группы – это датолит  $\text{CaB}[\text{SiO}_4] \cdot [\text{OH}]$  и турмалин  $(\text{Na}, \text{Ca}) \cdot (\text{Mg}, \text{Al})_6[\text{B}_3\text{Al}_3\text{Si}_6(\text{O}, \text{OH}_3)]$ , из второй – бура  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  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 – это борная  $\text{H}_3\text{BO}_3$  и тетраборная  $\text{H}_2\text{B}_4\text{O}_7$  кислоты.

Максимальная концентрация метаборной кислоты 44 г/дм<sup>3</sup> зафиксирована в водах гипсоангидритовой толщи Омуртакской структуры Болгарии.

Среди минеральных питьевых, лечебных и лечебно-столовых вод по химическому составу выделяют 6 основных групп:

1. Гидрокарбонатные натриевые (Поляна Квасова, Нелепинская);
2. Гидрокарбонатные кальциево-натриевые (Сахалинская, скв. 6-А бис.);
3. Хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (Лазаревская, Цкаро, Вардзия);
4. Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые (Нижний Кармадон, СКВ. 29-Р);
5. Хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые (Эльбрус, Малкинская);
6. Хлоридные натриевые (Урс-Дон, Анивская № 1).

Борные воды широко распространены в районах развития месторождений борного сырья. Выделяется два борных пояса: широтный или южный (Карпаты, Крым, Кавказ, Копетдаг и Южный Памир), а также Тихоокеанский: Восточное Забайкалье, Приамурье, Приморье, Чукотка, Сахалин, Камчатка.

В Пермском крае борсодержащие рассолы неоднократно вскрывались среди нижнепермских сакмаро-артинских отложений, где содержание  $\text{HBO}_2$  достигало более 1500 мг/дм<sup>3</sup>.

## Контрольные вопросы

1. Какие компоненты минеральных вод относят к специфическим?
2. Поясните механизм накопления йода в подземных водах.
3. Каковы основные факторы обогащения подземных вод бромом.
4. Назовите основные критерии лечебных минеральных вод, обогащенных органикой.
5. Назовите основные источники поступления железа в минеральных водах.
6. Где сосредоточены районы распространения минеральных вод с повышенным содержанием мышьяка.
7. Назовите основные группы боросодержащих минеральных вод по химическому составу и приведите примеры их месторождений.

### *Глава 6. Лечебные воды без специфических компонентов и свойств*

Бальнеологические (лечебные) свойства этих вод определяются их основным ионным составом и общей минерализацией.

Минеральные воды этой группы холодные и термальные. Общая минерализация вод и рассолов составляет 1-350 г/дм<sup>3</sup> и более. Они используются в качестве лечебных, лечебно-столовых вод (ГОСТ 13273-88), а также для наружного применения. Среди этих вод преобладают хлоридные и сульфатные натриевые и кальциево-натриевые.

Например: Кишиневский тип вод – SO<sub>4</sub> Ca-Mg-Na с минерализацией 1-5 г/дм<sup>3</sup>; Московский – SO<sub>4</sub> Ca-Mg-Na с минерализацией 1-5 г/дм<sup>3</sup>; Баталинский – Cl Na-Ca с минерализацией 1-5, 5-15 г/дм<sup>3</sup>; Ижевский – Cl-SO<sub>4</sub> Na-Ca-Mg с минерализацией 1-5 г/дм<sup>3</sup>; Миргородский - Cl Na с минерализацией 1-5, 5-15, 15-35 г/дм<sup>3</sup>; Друскининкайский – рассольные воды Cl Na-Ca-Mg с минерализацией 1-5, 5-15, 15-35 г/дм<sup>3</sup>; Усольский – Cl-Na, 35-150 г/дм<sup>3</sup> и т.д. (по классификации Иванова-Невраева).

**Условия формирования и распространения.** Эта группа лечебных минеральных вод наиболее широко 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. В ионном составе этих вод преобладают  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , обусловленные процессами растворения, выщелачивания, смешения, катионного обмена и т.д.

Сульфатные минеральные воды распространены в пределах Восточно-Европейской и Сибирской платформ, в Северо-Двинском, Прибалтийском, Московском, Волго-Камском и Ангаро-Ленском бассейнах. Они известны также в Предкарпатском артезианском бассейне, Молдавии, Казахстане, Средней Азии. Минерализация этих вод колеблется в пределах от 2 до 10 г/дм<sup>3</sup>. Они распространены в верхней гидродинамической зоне (ниже пресных вод) в зоне свободного водообмена на глубине от 10 до 300-500 м. В гидрохимическом плане – в зоне окисления.

Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные воды формируются в более глубоких горизонтах артезианских бассейнов европейской части бывшего СССР, Казахстане, Средней Азии и Восточной Сибири. Они развиты в менее активных по водообмену зонах терригенно-карбонатных и карбонатных, гипсоносных и соленосных толщах. В гидродинамическом плане – ниже сульфатных вод, в южных регионах ниже пресных вод на глубине до 1000 м. Эти воды получили развитие в пределах Московского, Северо-Двинского, Прибалтийского, Причерноморского, Прикаспийского, Амударьинского, Южно-Мангышлакского, Иртышского и Ангаро-Ленского бассейнов.

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

Гидрокарбонатно-хлоридные воды и рассолы в связи с хорошей растворимостью соединений хлора распространены весьма широко в осадочных толщах Европейской части бывшего СССР, Казахстана, Средней Азии и Восточной Сибири. Они встречаются также в кристаллических и метаморфических породах грабенообразных прогибов Балтийского, Украинского и Воронежского щитов и массивов.

Среди хлоридных высокоминерализованных вод рассолов без «специфических» компонентов преобладают воды и рассолы выщелачивания. Они развиты в соленосных бассейнах и имеют инфильтрационный генезис. По катионному составу воды натриевые с минерализацией 350 г/дм<sup>3</sup>. Они используются как питьевые лечебные и для на-

ружного применения. Из них наиболее известны: «Миргородская», «Куяльник № 6», «Вярска № 2», «Мирская», «Друскининкайская», «Нижне-Сергиевская», «Нальчинская», «Ангарская» и др. Например, в Усолье Сибирском в кембрийском надсолевом комплексе на глубине 1607-1625 м вскрыты Cl Na рассолы с минерализацией 316 г/дм<sup>3</sup>.

### **Контрольные вопросы**

1. Чем определяются лечебные свойства вод без специфических компонентов?
2. Назовите преобладающие типы лечебных минеральных вод без специфических компонентов.
3. Какие минеральные воды без специфических компонентов известны в вашем регионе?

### **Основная литература**

1. *Иванов В.В., Невраев Г.А.* Классификации подземных минеральных вод. – М.: Недра, 1964.
2. *Куликов Г.В., Жевлаков А.В., Бондаренко С.С.* Минеральные лечебные воды СССР. – М.: Недра, 1991. – 399 с.
3. *Овчинников А.М.* Минеральные воды. – М.: Госгеолтехиздат, 1963.
4. *Плотникова Р.И., Соустова Т.Н.* Минеральное сырье. Минеральные подземные воды// Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 57 с.
5. *Шварцев С.Л.* Общая гидрогеология. – М.: Недра, 1996. – 423 с.
6. *Шестов И.Н.* Минеральные лечебные воды Пермской области и перспективы курортного строительства: Автореф. канд. дисс. – Пермь, 1967.
7. *Шурубор А.В., Шестов И.Н.* Минеральные лечебные воды Пермской области и перспективы их использования // Вестник ПГУ. Геология, Вып. 3, 1994.

### **Дополнительная литература**

1. *Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Минеральные лечебные воды Башкортостана. – Уфа: Гилем, 1999. – 298 с.

2. *Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. – Уфа: Гилем, 2010. – 420 с.
3. *Бабинец А.Е., Шестопалов В.И., Моисеева Н.П. и др.* Лечебные минеральные воды типа «Нафтуся». – Киев: Наукова думка, 1986.
4. *Белов С.Ю., Шестов И.Н.* Подземные минеральные воды Пермского края // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 11.2009. – М.: ВНИИОЭНГ. – С. 107.
5. *Белов Ю.Е., Шестов И.Н.* Гидрогеологические особенности распространения лечебных и лечебно-столовых вод в Центральной части Урала и Приуралья // Материалы Международ. конгр. «Современные проблемы санаторно-курортного дела». – М., 1996. – С. 85.
6. *Билак С.П.* Минеральные воды Закарпатья. – Львов, 1986.
7. *Богомолов Н.С. и Портнов А.Г.* Минеральные воды Забайкалья и перспективы их использования // Курортные ресурсы Забайкалья и их использование в лечебных целях, вып.78.
8. *Вартанян Г.С.* Месторождения углекислых вод горно-складчатых регионов. – М.: Недра, 1977. – 288 с.
9. *Всеволожский В.А.* Основы гидрогеологии. – М.: Изд-во МГУ, 2007.
10. Записки Забайкальского филиала географического общества СССР, 1972.
11. *Иванов А.Ф.* Прогноз процессов формирования минеральных вод на основе изотопно-гидрохимических исследований (на примере Чувашской минеральной провинции): Автореф. канд. дисс. – Пермь, 2009. – 23 с.
12. *Кирюхин В.К., Швец В.М.* Процессы формирования йодных вод. – М.: Недра, 1980. – 95 с.
13. *Комракова С.Г., Лукашев К.И.* Йод в природных водах и почвах Белорусского Поозерья. – Минск: Наука и техника, 1985. – 128 с.
14. *Кудельский А.В., Козлов М.Ф.* Геохимия, формирование и распространение йодо-бромных вод. – Минск: Наука и техника, 1970. – 144 с.
15. Курорт Усть-Качка: Проспект. – Пермь, 1985.
16. *Модестов В. К.* Прикамские сероводородные воды. – Пермь, 1935. – 50 с.
17. *Нуриев И.С.* Особенности формирования химического состава подземных вод зоны активного водообмена юго-запада Татарстана: Автореф. канд. дисс.. – Пермь, 2010.

18. *Плотникова Г.Н.* Научные основы поисков сероводородных вод в осадочной толще земной коры // Методика изучения гидротермальных ресурсов для курортно-санаторных целей: Тр. Института курортологии. – М., 1983. – С. 3-20.
19. *Петров В.В., Иванова Т.К.* Гидрогеологический памятник природы в Санкт-Петербурге // Докл. Третьей международной конф. «Особо охраняемые территории». – СПб., 2008. – С.224-227.
20. *Поляк Б.Г., Вакин Е.А., Овчинникова Е.Н.* Гидротермические условия вулканического района Камчатки. – М.: Недра, 1965.
21. Современные проблемы санаторно-курортного дела // Материалы Международ. конгресса по курортологии. – М., 1996.
22. *Челноков Г.А., Харитонова Н.А.* Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока России. – Владивосток: Дальнаука, 2001.
23. *Шейко Н.И., Меньшина Н.В.* Кавказские минеральные воды. – М.: Издательство «Дом Вече», 2000.
24. *Шестов И.Н., Шурубор В.А.* Минеральные лечебные и промышленные воды Кировской области // Гидрогеология и карстование. Вып.13. – Пермь, 2000.
25. *Шестов И.Н., Шурубор А.В.* Месторождения и перспективные участки минеральных лечебных вод Пермской области и вопросы их охраны от загрязнения и истощения // Гидрогеология и карстование. Вып. 14. – Пермь, 2002. – С. 44-61.
26. *Шурубор А.В., Шестов И.Н.* Йод и бром в подземных водах Прикамья // Химический состав и ресурсы подземных вод Предуралья и Зауралья: Сб. науч.трудов УНЦ АН. – Свердловск, 1986. – С. 64-72.
27. *Шурубор А.В., Шестов И.Н.* О взаимосвязи сульфатности вод с сернистостью нефтей// Химический состав и ресурсы подземных вод Предуралья и Зауралья: Сб. науч.трудов УНЦ АН. – Свердловск, 1986. – С. 73-78.
28. Vichy laboratoires. France. Источник здоровой кожи: Брошюра. М., 2009.

## Раздел IV. Промышленные воды

### *Глава 1. Понятие о промышленных минеральных водах и современное состояние их использования*

Подземные воды, содержащие в повышенных количествах отдельные ценные компоненты или их соединения, могут использоваться как промышленное минеральное сырье для добычи рассеянных элементов, редких металлов и солей, а также в бальнеологических и теплоэнергетических целях. Известны подземные воды с весьма высокими концентрациями I, Br, B, Li, Sr, Cs, K, Mg, Rb и других элементов и их соединений, представляющих существенный интерес для различных отраслей промышленности.

Подземные воды с высоким содержанием полезных компонентов характеризуются довольно широким региональным распространением и большими геологическими запасами. Промышленные воды обычно приурочены к крупным водонапорным системам платформенного типа, предгорным и межгорным впадинам.

Однако возможности их практического использования ограничены, что связано с техническими трудностями извлечения в производственных условиях большинства перечисленных компонентов из водных растворов.

Н.А. Плотников, учитывая кларковые содержания элементов земной коры в морской воде и в водах суши, предлагает классификацию бромных, йодных, бороносных и радиевых вод.

Специфические по микрокомпонентному составу воды	мг/дм <sup>3</sup>	Промышленные воды	мг/дм <sup>3</sup>
бромные	25	бромные	250
йодные	1	йодные	18
йодобромные	1(I), 25(Br)	йодобромные	10(I), 200(Br)
борные	10	борные	250
йодо-борные	1(I), 10(B)	йодо-борные	10(I), 75(B)
радиевые	10 <sup>-8</sup>	радиевые	10 <sup>-5</sup>

Исходя из общих условий распространения подземных вод с редкими металлами и опыта их использования, установлены следующие нижние пределы концентраций элементов, при которых такие воды могут представлять промышленный интерес, в мг/дм<sup>3</sup>:

Литий (Li) – 10

Цезий (Cs) – 0,5

Германий (Ge) – 0,05

Рубидий (Rb) – 3

Стронций (Sr) – 300

Такие концентрации встречаются в подземных водах крупных территорий, образуя гидрохимические провинции. Часто повышенные концентрации этих элементов свойственны йодобромным водам, что создает предпосылки для комплексного использования подземных промышленных вод. Обычно в подземных водах содержится несколько компонентов, определяющих их промышленную ценность. Из этих компонентов выделяют один или два основных, а остальные имеют подчиненное значение.

И.К. Зайцев считает, что к главным следует относить те компоненты, содержание которых превышает кондиционный предел. Например, бром – литий – галитовые, бром – бор – галитовые, бром – борные, мирабилитовые и глауберитовые – содовые (практическое использование этой классификации затруднено).

Рентабельность промышленного получения тех или иных компонентов определяется не только и не столько их концентрацией и составом подземных вод, но и другими условиями.

Так, при большой глубине залегания подземных вод и, следовательно, большой глубине эксплуатационных скважин, малом их дебите и глубоких динамических уровнях добыча и переработка подземных вод могут оказаться экономически нецелесообразными даже при больших концентрациях полезных компонентов. В то же время в благоприятных гидрогеологических условиях (небольшая глубина залегания подземных вод, высокие фильтрационные свойства пород, большие дебиты скважин, небольшая глубина динамических уровней от поверхности) в процессе эксплуатации месторождений добыча подземных вод оказывается экономически целесообразной и при меньших концентрациях полезных компонентов.

Следовательно, к промышленным водам следует относить подземные воды и рассолы, содержащие полезные компоненты или их со-

единения в количествах, обеспечивающих в пределах конкретных гидрогеологических районов рентабельную добычу и переработку этих вод с целью получения полезных компонентов современными техническими средствами и с использованием современных технологических процессов.

Это определение предусматривает:

1. Оценку и обоснование минимальных промышленных концентраций полезных компонентов в подземных водах особо для каждого гидрогеологического района.

2. Зона распространения промышленных вод отвечает совокупности гидрогеологических условий, обеспечивающих рентабельность извлечения.

3. Для различных районов с разными гидрогеологическими условиями устанавливаются различные минимальные концентрации одноименных полезных компонентов.

4. Требования к минимальным промышленным концентрациям не являются постоянными и обусловлены уровнем развития техники и технологии, а также размерами потребления этих компонентов в различных отраслях народного хозяйства и спросом на них на мировом рынке.

По степени минерализации промышленные воды также принято делить на 4 основные группы:

- 1) пресные, с минерализацией до  $1 \text{ г/дм}^3$ ;
- 2) солоноватые – от 1 до  $10 \text{ г/дм}^3$ ;
- 3) соленые – от 10 до  $35 \text{ г/дм}^3$ ;
- 4) рассолы – более  $35 \text{ г/дм}^3$  (по В.И. Вернадскому более  $50 \text{ г/дм}^3$ ).

Подземные промышленные воды относятся преимущественно к группе минерализованных вод и рассолов. Йодные и бороносные воды чаще относятся к группе соленых вод и рассолов с минерализацией до  $150 \text{ г/дм}^3$ ; бромные, литиевоносные – к рассолам с минерализацией более  $150 \text{ г/дм}^3$ , йодобромные – к рассолам с минерализацией  $150 - 250 \text{ г/дм}^3$ .

Содержание редких щелочных элементов и стронция в водах обычно возрастает с увеличением минерализации, однако эта зависимость сложная и неодинаковая для подземных вод различного химического состава.

Концентрация практически всех редких элементов значительно увеличивается в интервале минерализации  $270 - 300 \text{ г/дм}^3$ , что вызывает выпадение из раствора галита ( $\text{NaCl}$ ).

Из всего многообразия подземных минерализованных вод Л.С. Балашовым выделяется только три их генетических вида, представляющих практический интерес по величине концентрации полезных компонентов и количеству эксплуатационных ресурсов:

- 1) пластовые хлоридные воды и рассолы артезианских бассейнов;
- 2) углекислые воды альпийской зоны горно-складчатых областей;
- 3) термальные хлоридные воды современных вулканических областей.

История использования подземных вод для промышленного извлечения полезных компонентов начинается с солеварения, которым занимались в России уже в XII—XIII вв. Так в Пермском Прикамье основанный в 1560 г. Строгановыми Пыскорский Преображенский монастырь заводит соляные варницы на р. Каме в Рождественском Усолье и на р. Зырянке, где в 1681 г. насчитывалось 35 варниц. В 1652 г. из пяти лучших варниц на левом берегу р. Камы в устье Зырянки был создан Усть-Зырянский соляной промысел. В это время у Соли Камской уже насчитывалось 78 действующих варниц. В первое время существования соляных промыслов извлечение рассолов происходило с глубины 30-40 м из трубчатых колодцев. Рассол поднимали бадьями через матричные трубы при помощи ручных ворот. Трубы закладывались, как правило, в местах выхода соляных источников. Широкое распространение получили насосы, работающие на энергии воды. Соль производилась путем выварки естественных рассолов, выкачиваемых из скважин. В советское время соляные промыслы были объединены в государственный трест «Пермсоль». В 1923-1924 гг. действовало 4 солезавода. В 1924 г. на этих заводах было получено 117 630 т поваренной соли. После строительства КамГЭС территория с солеваренными заводами была затоплена. В настоящее время в городах Березники и Соликамск организовано производство пищевой соли «Пермянки», которая прошла экологическую сертификацию. Но эту соль теперь получают не из природных рассолов, а в результате галургического процесса, основанного на растворении каменной соли при повышенной температуре, а затем получении ее в кристаллическом виде.

В дальнейшем природные (в том числе подземные) воды стали промышленным сырьем для получения ценных и редких компонентов.

Эта тенденция продолжается и в настоящее время. Значение природных вод в качестве сырья для получения ряда компонентов все повышается. Так, недавно 97% перспективных запасов лития в развитых странах приходилось на гранитные пегматиты. В настоящее время 55% мировых запасов лития сосредоточено в природных водах, а в США удельный вес природных вод в добыче лития уже достиг 85%. В природных водах сосредоточено также 40% мировых запасов рубидия и 35% запасов цезия. По мере развития технологии подземные воды станут такими же источниками многих редких полезных компонентов, как и их концентрации в твердой фазе земной коры.

В СССР из подземных вод в промышленных масштабах извлекали бром и йод. По данным на 1971 г., около 70% бромной продукции добывали из подземных вод, остальные 30% извлекали из рапы озер морского и континентального происхождения и отходов калийного производства. Йод добывали частично (29% продукции) из сбросных вод нефтяных промыслов и преимущественно (71%) из специально добываемых подземных вод.

Между тем круг полезных компонентов, которые на основе современной технологии можно рентабельно извлекать из подземных вод, этими элементами далеко не ограничен. Так, в США основным поставщиком лития служат подземные рассолы так называемых сухих озер Серлз, Сильвер-Пик и Большого Соленого.

*Рассолы оз. Серлз.* Минерализация  $\sim 430$  г/дм<sup>3</sup>, тип Cl - CO<sub>3</sub>(SO<sub>4</sub>) - Na, максимальные содержания компонентов: литий 81 мг/дм<sup>3</sup>, калий 26 г/дм<sup>3</sup>, бор 4 г/дм<sup>3</sup>, йод 29 мг/дм<sup>3</sup>, бром 860 мг/дм<sup>3</sup>, вольфрам 55 мг/дм<sup>3</sup>; запасы составляют: Li<sub>2</sub>O 400 тыс. т, K<sub>2</sub>O > 18 млн т; B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 17,35 – 30 млн т; WO<sub>3</sub> 75-80 тыс. т. Из рассолов производят соду, сульфат натрия, хлорид калия, бром, бромистый натрий, буру, борную кислоту, фосфорную кислоту, карбонат лития, фосфат лития. Производство лития (по Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) составляет 1100 т/год, буры – 256 тыс. т/год.

*Рассолы оз. Сильвер-Пик.* Минерализация 180 г/дм<sup>3</sup>, тип Cl-Na; содержание лития составляет  $\sim 400$  мг/дм<sup>3</sup>, запасы Li<sub>2</sub>O – 7,4 млн т. Из рассолов производят карбонат лития (6-8 тыс. т/год Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) и ряд других компонентов.

*Рассолы Большого Соленого озера.* Минерализация 310 г/дм<sup>3</sup>, тип Cl-SO<sub>4</sub> -Na-Mg; содержание компонентов: литий 42-66 мг/дм<sup>3</sup>; калий 4,55-7,7 г/дм<sup>3</sup>; запасы LiCl составляют 4 млн т. Из рассолов производят сульфаты калия и натрия, хлориды магния, натрия и лития.

В Италии основным источником бора являются парогидротермы Лардерелло (содержание  $\text{H}_3\text{BO}_3$  0,3 г/дм<sup>3</sup> в паре и ~ 100-20 000 мг/дм<sup>3</sup> в конденсированной и сконцентрированной воде, предварительно использованной на геотермальных станциях). Из парогидротерм извлекают буру, борную кислоту, аммиачные и карбонатные продукты. Производится 4400 т борной кислоты и 4-5 тыс. т буры.

В Израиле из рассолов Мертвого моря (минерализация 300-320 г/дм<sup>3</sup>, тип Cl-Mg-Na; содержание лития 18 мг/дм<sup>3</sup>, рубидия 60 мг/дм<sup>3</sup>) извлекают хлористый калий, бромидные продукты и намереваются извлекать хлористый литий (запасы LiCl в рассолах 17,5 млн т).

В Китае промышленные природные воды (особенно рассолы озер) используют для извлечения редких щелочных элементов и бора. В Японии для этой же цели используют парогидротермы.

Во многих странах пытаются извлекать уран из морских вод и особенно из вод карбонатных озер, где его содержание достигает десятков миллиграммов на литр. И наконец, в ряде стран уже достаточно длительное время в незначительных количествах извлекают медь и сопутствующие ей рудные элементы из рудничных (Россия, Япония) и кислых термальных (Япония) вод. Итак, в настоящее время в балансе промышленных (на редкие элементы) вод преобладают рассолы, сконцентрированные в бессточных впадинах. Но отдельные геохимические типы подземных вод не уступают им по концентрациям полезных компонентов. Действительно, максимальные достоверные концентрации полезных компонентов в подземных водах в настоящее время достигают (мг/дм<sup>3</sup>): Li – 700, Rb – 96 (как исключение 960), Cs – 20, В > 20 000, Sr – 10 000, Br – 10 000 – 17 000, I – 1400. Поэтому подземные воды могут быть сырьевым источником не только брома и йода, но и других элементов, особенно редких. Вследствие широкого распространения подземных вод с высокими содержаниями редких элементов в геологических структурах запасы этих элементов, сосредоточенные в водной фазе земной коры, чрезвычайно велики. Важным преимуществом подземных вод как сырьевого источника редких элементов является, вероятно, низкая себестоимость продукта, ибо: а) подземные воды являются комплексным сырьем; б) отдельные их геохимические типы обладают сравнительно высокой технологичностью; в) эксплуатация водных месторождений редких элементов не требует дорогостоящих горных работ. В связи с этим в большинстве развитых стран, имеющих подземные и поверхностные воды с высокими содержаниями редких

элементов, постоянно и планомерно ведутся технологические исследования для разработки методов извлечения этих элементов из конкретных геохимических типов природных вод. Конечная цель изучения промышленных вод – это оценка возможности их использования.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение промышленных минеральных вод и перечислите основные их типы.
2. Какие факторы позволяют относить минеральные воды к промышленным?
3. Какие элементы и соединения добываются в настоящее время из подземных вод в России и за рубежом?
4. Какое полезное ископаемое извлекали в Прикамье в промышленных масштабах из природных вод, начиная с XVII века?

### ***Глава 2. Условия распространения и районирование подземных промышленных вод***

Районирование подземных промышленных вод является основой для изучения региональных закономерностей их распространения и выявления перспектив их практического использования.

Подземные минерализованные воды и рассолы промышленного значения широко развиты на территории РФ и ближнего зарубежья и приурочены, как правило, к глубоким частям крупных артезианских бассейнов. Бассейны эти в структурно-тектоническом отношении соответствуют впадинам древних докембрийских и эпигерцинских платформ; крупным предгорным и межгорным впадинам. Масштабы распространения, химический состав промышленных подземных вод и характер изменения в них концентраций рассеянных и редких элементов различны в разных районах. Они определяются общей гидрогеологической обстановкой, обусловленной геологической историей региона, которая, в свою очередь, определяет особенности и направление подземного стока.

При выделении районов распространения промышленных вод используются принципы общего гидрогеологического районирования. Принимая за единицу районирования «природные водонапорные системы», А.М. Овчинников отмечал, что не всегда по условиям распро-

странения и движения подземных вод представляется возможным охарактеризовать гидрогеологические районы, используя классическую схему артезианских бассейнов.

Промышленные подземные воды широко распространены в двух типах водонапорных систем, выделенных А.М. Овчинниковым: это крупные и средние артезианские бассейны платформенных областей, межгорных котловин и предгорных краевых прогибов.

В качестве основы районирования промышленных вод С.С. Бондаренко и Г.В. Куликов взяли общее гидрогеологическое районирование, разработанное во ВСЕГИНГЕО коллективом авторов под руководством Н.В. Роговской. Также учитывались ранее разработанные схемы районирования Г.Н. Каменского, Н.И. Толстихина, И.К. Зайцева.

С.С. Бондаренко и Г.В. Куликов (рис. 2) предлагают использовать следующие принципы выделения площадей распространения промышленных вод:

1. В основу районирования положен геоструктурный признак; в соответствии с этим главными элементами районирования являются крупные гидрогеологические области (платформенные, артезианские и горно-складчатые). Крупные гидрогеологические структуры, характеризующиеся общностью закономерностей распространения подземных промышленных вод, согласно Н.А. Плотникову, объединяются в провинции подземных промышленных вод.

2. В пределах провинций выделяются гидрогеологические структуры второго порядка в качестве районов (в частном случае – бассейнов) промышленных вод. Каждый такой район (бассейн) характеризуется своими особенностями геологической истории развития и условиями формирования подземных вод. Эти бассейны должны иметь несколько водообильных горизонтов. В отдельных районах провинций промышленные воды могут отсутствовать.

## **Провинции и районы распространения подземных промышленных вод**

### **Провинции промышленных вод древних (докембрийских) платформ**

*Восточно-Европейская артезианская область:*

#### **I. Провинция Русской платформы (I)**

Районы (бассейны): Волго-Камский ( $I_1$ ), Тимано-Печорский ( $I_2$ ), Московский ( $I_3$ ), Прибалтийский ( $I_4$ ), Днепровско-Донецкий ( $I_5$ ), Цен-

тральный Днепровско-Донецкий (I<sub>5-a</sub>), Бассейн Припятской впадины (I<sub>5-6</sub>), Брестско-Львовский (I<sub>6</sub>), Причерноморский (I<sub>7</sub>), Донецкий (I<sub>8</sub>).

II. Прикаспийская провинция (II)

Район (бассейн) Прикаспийский (II).

*Восточно-Сибирская артезианская область:*

III. Провинция Сибирской платформы (III)

Районы (бассейны): Ангаро-Ленский (III<sub>1</sub>), Якутский (III<sub>2</sub>), Тунгусский (III<sub>3</sub>).

### **Провинции подземных промышленных вод эпипалеозойских платформенных областей**

*Скифская платформенная артезианская область:*

IV. Провинция Скифской плиты (IV)

Районы (бассейны): Азово-Кубанский (IV<sub>1</sub>), Терско-Кумский (IV<sub>2</sub>), Северо-Крымский (IV<sub>3</sub>).

*Западно-Сибирская платформенная артезианская область:*

V. Провинция Западно-Сибирской плиты (V)

Районы (бассейны): Западно-Сибирский (V<sub>1</sub>), Хатангский (V<sub>2</sub>).

*Туранская платформенная артезианская область:*

VI. Провинция Туранской плиты (VI)

Районы: Устюртский (VI<sub>1</sub>), Центрально-Каспийский (VI<sub>2</sub>), Амударьинский (Каракумский) (VI<sub>3</sub>), Тургайский (VI<sub>4</sub>), Сырдарьинский (Кызылкумский) (VI<sub>5</sub>), Чуйский (VI<sub>6</sub>).

### **Провинции подземных промышленных вод гидрогеологических складчатых областей**

VII. Провинция гидрогеологических областей альпийской складчатости (VII)

Районы: Куринско-Апшеронский (VII<sub>1</sub>), Западно-Туркменский (VII<sub>2</sub>), Карпатская область (VII<sub>3</sub>).

VIII. Провинция гидрогеологических областей герцинской (и более ранней) складчатости (VIII).

Районы (бассейны): мелкие межгорные бассейны.

IX. Провинция гидрогеологических областей мезозойской складчатости (IX)

Не выявлено.

X. Провинция гидрогеологических областей кайнозойской складчатости (X)

Сахалинская складчатая область с межгорными бассейнами.

Схематическая карта дает представление о распространении подземных промышленных вод на территории России и ближнего зарубежья (рис.2).

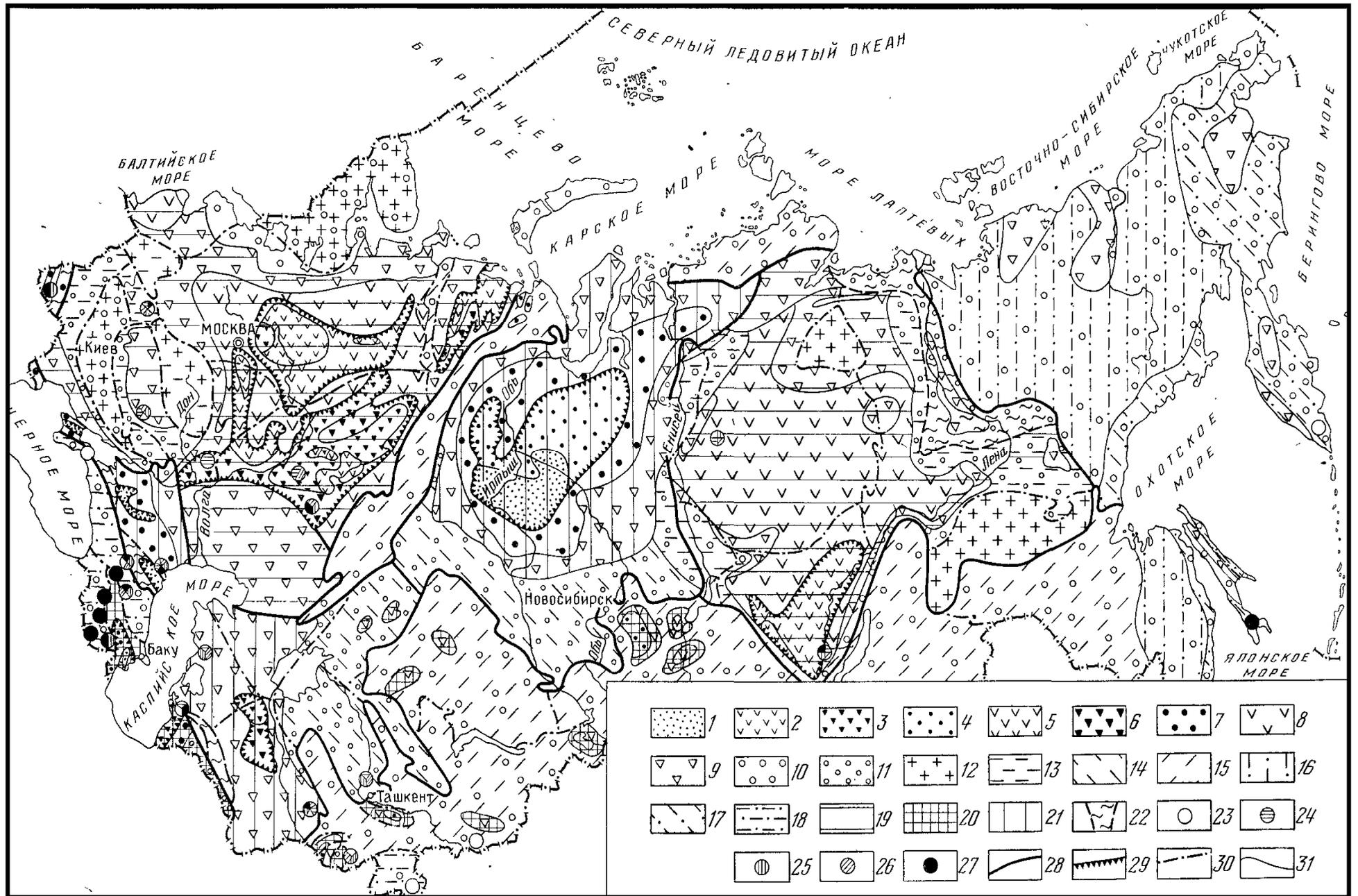


Рис. 2 . Схематическая карта районирования, распространения и перспективности промышленных подземных вод СССР (Составил С.С. Бондаренко):

Районы весьма перспективные на подземные промышленные воды: 1 — йодные, 2 — бромные, 3 — йодобромные. Районы перспективные на подземные промышленные воды: 4 — йодные, 5 — бромные, 6 — йодобромные. Районы малоперспективные в отношении на подземные промышленные воды, но на отдельных участках возможно наличие промышленных вод: 7 — йодных, 8 — бромных, 9 — йодобромных. Районы неперспективные на подземные йодобромные воды: 10 — в пределах горно-складчатых гидрогеологических областей, 11 — в пределах платформенных гидрогеологических областей, 12 — в пределах кристаллических щитов докембрийских платформенных областей, 13 — в пределах осадочного чехла платформенных областей с докембрийским основанием, 14 — в пределах осадочного чехла платформенных областей с палеозойским складчатым основанием, 15 — в пределах горно-складчатых областей каледонской и герцинской складчатости, 16 — то же, мезозойской складчатости, 17 — то же, кайнозойской складчатости, 18 — то же, альпийской складчатости. Распространение подземных йодобромных вод: 19 — в пределах платформенных областей с докембрийским фундаментом, 20 — в пределах межгорных впадин горно-складчатых областей, 21 — в пределах палеозойских платформенных областей, 22 — в пределах предгорных прогибов. Участки распространения подземных вод с содержанием: 23 — 26 — редких элементов; 27 — брома. Границы: 28 — провинций подземных йодобромных вод; 29 — распространения подземных йодобромных вод промышленного значения; 30 — гидрогеологических районов первого порядка; 31 — районов с различной перспективностью

Приводятся сведения о масштабах распространения таких вод в пределах провинций и отдельных районов, они также позволяют выявить общие закономерности их распространения и условий залегания.

Из вышеприведенной классификации видно, что относящиеся к Карпатской и Крымско-Кавказской гидрогеологической области платформенные районы Крыма и Предкавказья для промышленных подземных вод выделены в Скифскую эпипалеозойскую платформенную область.

Район Печорского артезианского бассейна в связи с характером и условиями залегания водовмещающих пород, особенностями минерализации и химического состава подземных вод рассматривается в провинции промышленных вод Русской платформы. По тем же причинам Хатангский район (бассейн) рассматривается в составе провинции промышленных вод Западно-Сибирской эпипалеозойской плиты. Кроме того, отдельные гидрогеологические складчатые области объединены по возрастному признаку.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие основные принципы районирования промышленных вод приняты в России?
2. Назовите наиболее перспективные районы для добычи в промышленных масштабах отдельных компонентов из подземных вод – NaCl, I, Br, B, Li, Rb, Cs, Sr.
3. На ксерокопии схематической карты распространения и районирования промышленных подземных вод выделите цветом весьма перспективные, перспективные и малоперспективные районы йодных, бромных и йодобромных вод, используя условные обозначения и предлагаемую цветовую легенду – йодные сплошным синим цветом, бромные оранжевым, йодобромные в диагональную сине-оранжевую полосу, причем тональность окраски зависит от перспективности района (чем перспективней район, тем насыщенней цветовой тон).

### ***Глава 3. Добыча и использование подземных промышленных вод в России и за рубежом***

В последнее время в нашей стране и за рубежом все больше внимания уделяется комплексному использованию подземных вод как ис-

точнику промышленного гидроминерального сырья. Например, в США при производстве карбоната Li, извлекая Li из подземных вод на 1 млн долларов капитальных вложений получают товарную продукцию на 5 млн долларов. Экономическая эффективность добычи рассеянных элементов и редких металлов предопределяет развитие исследований, направленных на освоение этого вида минерального сырья.

Подземные воды по сравнению с твердыми полезными ископаемыми имеют ряд преимуществ:

- ♦ промышленные воды характеризуются широким региональным распространением и значительными геологическими запасами; например, запасы некоторых редких металлов в подземных водах во много раз превышают запасы в твердом рудном сырье;
- ♦ как правило, подземные воды являются поликомпонентным сырьем и одновременно могут использоваться в теплоэнергетических и в бальнеологических целях;
- ♦ добыча подземных вод не требует производства капиталоемких горных работ, а осуществляется скважинами, позволяющими получать сырье с больших глубин и больших площадей одним водозаборным сооружением;
- ♦ в ряде случаев в целях улучшения показателей подземные промышленные воды на поверхности могут дополнительно обогащаться путем испарительного концентрирования.

Для отдельных элементов, например йода, подземные воды в России, Японии, США являются единственным источником добычи. (Только в Чили йод добывают из отходов производства селитры).

В России из подземных вод в промышленных масштабах организовано пока производство только йода и брома. При этом весь йод добывают из подземных вод и 60-70% Br от всего количества, добываемого в России. Первый йодный завод на базе использования подземных вод был построен в нашей стране в 1935 году. В начале 30-х годов также на базе использования попутных вод нефтяных месторождений были введены йодобромные предприятия в Дагестане, а также в Азербайджане и Туркмении.

Большое влияние заслуживают попутные воды нефтяных, газовых, рудных, угольных месторождений. Такие воды иногда содержат повышенные концентрации I, Br, Rb, Cs, Sr, а также большие количества хлористых солей Na, Ca, Mg и других компонентов, представляющих интерес для промышленности и сельского хозяйства. Исполь-

зование этих вод для извлечения полезных компонентов не только будет обеспечивать хозяйство страны нужным минеральным сырьем, но и позволит решить проблемы охраны окружающей среды, рационального и комплексного использования полезных ископаемых.

### *Техника и технология эксплуатации подземных промышленных вод*

В настоящее время добыча подземных промышленных вод и рассолов осуществляется несколькими способами: 1) фонтанным; 2) эрлифтовым; 3) с использованием глубинных штанговых насосов; 4) с использованием электропогружных насосов.

Наиболее экономически эффективной является *фонтанная эксплуатация*, не требующая затрат энергии и средств на подъем воды из скважины. Этот способ характерен для месторождений с большими избыточными давлениями, обеспечивающими самоизлив воды из скважины в течение длительного периода. Для большинства месторождений России этот способ маловероятен. Иногда фонтанная эксплуатация возможна только в начале эксплуатации, а там, где статические уровни подземных вод располагаются ниже поверхности земли, она вообще невозможна.

При фонтанной эксплуатации скважины оборудуются фонтанной арматурой и насосно-компрессорными трубами.

При *насосно-компрессорной эксплуатации* в качестве водоподъемников используют эрлифты, позволяющие получить в процессе откачки большие дебиты скважины при значительных понижениях динамических уровней. В практике используют одно- и двухрядные эрлифты.

Плунжерные штанговые насосы широко применяются для эксплуатации промышленных I – Bг вод при малых (до 500 м<sup>3</sup>/сут.) дебитах скважин и их сильном песковании. Привод глубинных плунжерных насосов осуществляется редукторными станками качалками.

Наиболее прогрессивным и экономичным является использование погружных центробежных износоустойчивых электронасосов типа ЭЦНВ и ЭЦНИ. Производительность таких насосов 350, 500 и 700 м<sup>3</sup>/сут. Для разработки наиболее крупных месторождений параметры таких установок должны быть увеличены до 1000-2000 м<sup>3</sup>/сут. при понижениях уровня в скважине от 750 до 1000 м от поверхности.

*В Пермском Прикамье* месторождение йодобромных промышленных вод охватывает значительную часть Волго-Камского артезианского бассейна. Рассмотрим один из его участков. В его геологическом строении принимает участие толща карбонатно-терригенных отложений палеозоя, залегающих на кристаллическом докембрийском фундаменте. В этой толще пород прослеживаются выдержанные водоносные комплексы в додевонских, девонских, каменноугольных и пермских отложениях.

Подземные промышленные воды приурочены к терригенным отложениям нижнего карбона эйфельского яруса среднего девона, а также к зоне закарстованных доломитов и известняков франского яруса нижнего девона. Галогенная толща кунгурского яруса нижнепермских отложений практически безводна и является региональным водоупором.

Водоносный комплекс в песчаных отложениях нижнего карбона (С<sub>3</sub>) характеризуется повсеместным распространением в пределах водозабора; кровля его залегает на глубинах 1222-1424 м, эффективная мощность составляет в среднем 20,5 м. Водовмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами, пористость песчаников колеблется в пределах 8-24%. По химическому составу воды представляют собой хлоридные кальциево-натриевые рассолы с минерализацией 270-275 г/дм<sup>3</sup> и плотностью 1,18 г/см<sup>3</sup>, пластовая температура 22°C.

Водоносный горизонт терригенных отложений эйфельского яруса среднего девона имеет в Пермском Предуралье повсеместное распространение. Кровля его находится на глубине от 1835 до 2040 м. Средняя эффективная мощность эйфельских песчаников – 44 м, минерализация – 260-270 г/дм<sup>3</sup> и температура – 29-30°C.

На рассматриваемом участке имеются также эксплуатационные скважины, имеющие разную глубину в зависимости от глубины залегания вскрываемой промышленной водоносной зоны. От подземных вод С<sub>1</sub> в угленосной толще 1370-1400 м до подземных вод закарстованных известняков и доломитов D<sub>3</sub> 2118-2152 м. Наиболее глубокие скважины (до 2205 м) пробурены для эксплуатации подземных вод в терригенных отложениях эйфельского яруса D<sub>2</sub>. Добыча подземных вод из скважин производится, в основном, погружными электронасосами.

Увеличение суммарного дебита водозабора и снижение динамических уровней в процессе эксплуатации приводит к необходимости уве-

личения числа эксплуатационных скважин, что в свою очередь приводит к удорожанию добываемых подземных вод. Себестоимость йода и брома приближается к цене (отпускной) на эту продукцию.

Боросодержащие рассолы в Предуралье вскрываются также среди осадочных отложений палеозойского возраста. Содержание  $\text{HBO}_2$  в водах нефтяных месторождений здесь колеблется от 20 до 2000 мг/дм<sup>3</sup> и более. Наиболее высокие содержания  $\text{HBO}_2$  тяготеют к водам рифогенных карбонатных отложений нижней перми и верхнего карбона. Увеличение содержания бора в подземных водах на территории Пермского Прикамья идет с запада на восток. Воды галогенных отложений Верхнекамского месторождения солей также обогащены борными соединениями. Это объясняется наличием сульфатно-галогенных палеогидрогеологических обстановок осадконакопления в кунгурский век и может быть использовано в качестве поискового критерия на боросодержащие горные породы.

В настоящее время необходимо проведение специализированных поисково-разведывательных работ на промышленные воды. Нужно совершенствовать существующую и создавать новую минерально-сырьевую базу.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные преимущества добычи полезных компонентов из подземных вод.
2. Какими техническими способами добываются в настоящее время промышленные воды?
3. Назовите наиболее прогрессивные и экономичные методы добычи промышленных вод.
4. К каким отложениям в Пермском Прикамье приурочены промышленные йодобромные воды?

### **Основная литература**

1. *Бондаренко С.С., Куликов Г.В.* Подземные промышленные воды. – М.: Недра, 1984. – 358 с.
2. *Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.* Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. – М.: Наука, 2004. – 677 с.

### *Дополнительная литература*

1. *Белов С.Ю., Шестов И.Н.* Гидрогеологические условия палеозойских отложений Прикамья по результатам испытания продуктивных поисково-разведочных скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 3-4 2005. – М.: ВНИИОЭНГ. – С.102-108.
2. *Билак С.П.* Минеральные воды Закарпатья. – Львов, 1986.
3. *Всеволожский В.А.* Основы гидрогеологии. – М.: Изд-во МГУ, 2007.
4. *Кирюхин В.К., Швец В.М.* Процессы формирования йодных вод. – М.: Недра, 1980.
5. *Комракова С.Г., Лукашев К.И.* Йод в природных водах и почвах Белорусского Поозерья. – Минск: Наука и техника, 1985. – 128 с.
6. *Кудельский А.В., Козлов М.Ф.* Геохимия, формирование и распространение йодо-бромных вод. – Минск: Наука и техника, 1970. – 144 с.
7. *Попов В.Г., Шестов И.Н.* Геохимия бора в подземных рассолах Предуралья в связи с особенностями их формирования // Физико-химические закономерности осадконакопления в солеродных бассейнах. – М., 1986. – С. 93-97.
8. *Шестов И.Н., Белов С.Ю.* Боросодержащие рассолы Предуралья // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: Матер. Регион. науч.-практ. конф. – Пермь, 2003. – С. 237-2239.
9. *Шестов И.Н., Шурубор В.А.* Минеральные лечебные и промышленные воды Кировской области // Гидрогеология и карстование. Вып.13. – Пермь, 2000. – С. 86-98.

## Раздел V. Термальные воды

### *Глава 1. Понятие о термальных водах*

Термальными называются подземные воды, имеющие температуру 37°C и выше. Большинство классификаций по температуре сходятся в определении переохлажденных (ниже 0°C), холодных (ниже 20°C) и теплых (20-37°C) подземных вод, а расхождения в более высокой области температур носят во многом лишь терминологический характер (например, очень горячие или весьма горячие). Остановимся на классификации А.В. Щербакова.

Термальные теплые (субтермальные): 20-37°C. Критерии: граница между теплыми и горячими (температура человеческого тела).

Горячие: 37-50°C. Оптимальная температура для развития бактерий.

Весьма горячие (очень горячие, высокотермальные): 50-100°C. При температуре 100°C вода переходит в пар.

Перегретые (исключительно горячие):

Умеренно перегреты: 100-200°C. Критерий: яркое проявление теплометаморфизма (гидролиз карбонатов с выделением CO<sub>2</sub>, генерация abiогенного H<sub>2</sub>S).

Весьма перегреты: 200-375°C. Критерий: процессы углефикации органического вещества и углеводов.

Исключительно перегреты: выше 375°C. Критерий: существование ассоциаций, характерных для газа и жидкости.

### *Глава 2. Распространение и формирование термальных вод*

Термальные воды имеют глобальное распространение в земной коре, непрерывно получая тепловую энергию из глубоких недр Земли. Исследования Е.А. Любимовой показали, что расплавленная зона в мантии Земли сформировалась под действием радиоактивного распада 2-3 млрд лет назад на глубине от 150 до 600 километров в зависимости от исходных термических параметров. Известно, что температура на 1 километр глубины увеличивается в среднем на 32,9°C, то есть на глубине 20 километров она может достигнуть 550-600°C. Однако геотермические условия резко варьируются для различных районов (рис.3).

Наибольший геотермический градиент был отмечен в Бонанце (штат Орегон, США) – район молодой вулканической активности. Он

составил более  $150^{\circ}\text{C}$  на 1 км. Наименьший градиент  $6^{\circ}\text{C}$  на 1 км зарегистрирован в Южной Африке в области древнего кристаллического щита. Низкими геотермическими градиентами отличаются территории всех кристаллических щитов – Канадского, Балтийского, Украинского, Анабарского и др.

На территории внутриплатформенных впадин, предгорных и межгорных прогибов, сложенных преимущественно осадочными и вулканогенно-осадочными породами, геотермические градиенты либо близки к среднепланетарному значению ( $32,9^{\circ}\text{C}$ ), либо превышают его, достигая  $40-50^{\circ}\text{C}$  на км. Максимальные градиенты отмечаются в районах современной вулканической деятельности и в рифтовых поясах – до  $100-150^{\circ}\text{C}$  на км (рис. 4).

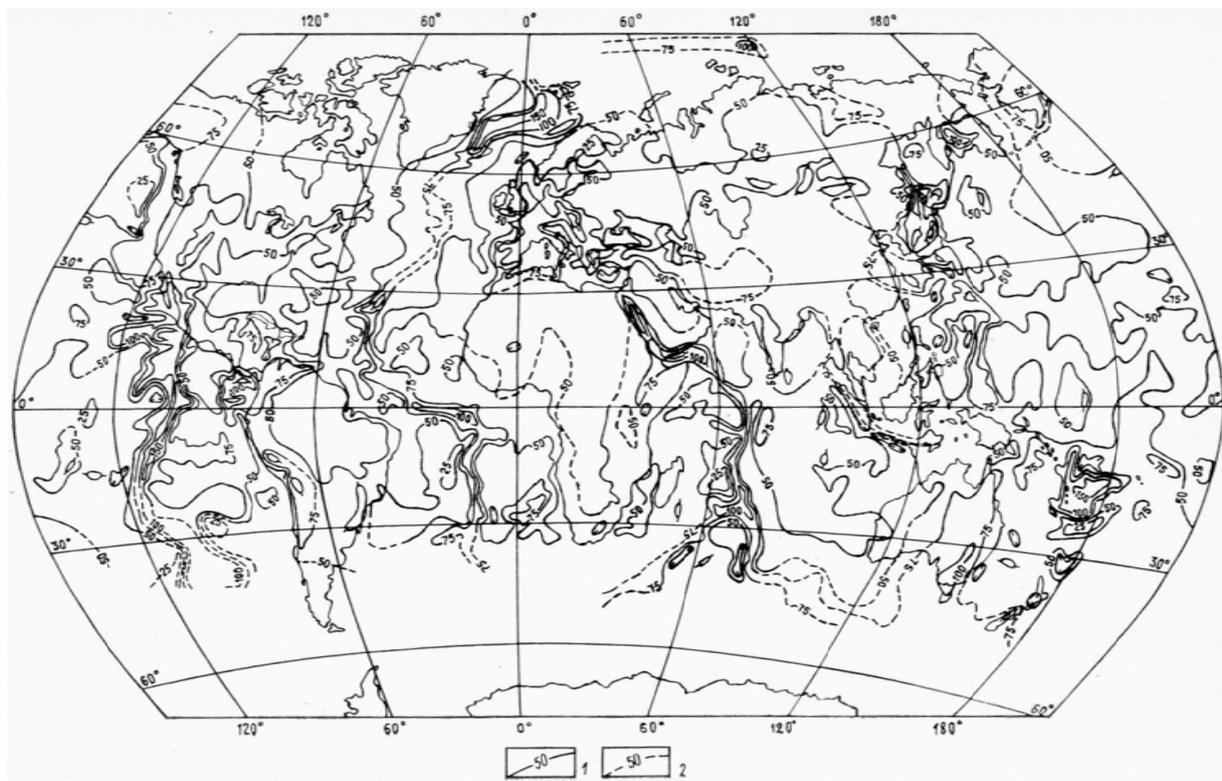


Рис. 3. Карта-схема теплового потока Земли:

1, 2 – изолинии плотности теплового потока (достоверные и менее достоверные)

Таким образом, в любой точке земной поверхности на определенной глубине, в зависимости от геотермических особенностей района, всегда можно обнаружить термальные воды. Эта своеобразная геотермальная оболочка прослеживается повсеместно, но на разной глубине. В рифтовых и вулканических зонах она выходит на земную поверхность, образуя *парогидротермальные месторождения*.

Как отмечает С.Л. Шварцев, активный современный вулканизм приурочен в основном к регионам, где континентальная кора соседствует с океанической. Им выделяется три группы месторождений термальных вод (рис. 4).

I группа месторождений термальных вод: гидротермальные системы районов современного вулканизма – это крупные емкости, в которых активно проявляется гидротермальная деятельность, связанная с аномально высоким приносом тепла из глубоких частей земли. С гидрогеологических позиций – это бассейны горячих вод и пара, которые часто разгружаются на поверхности земли. Месторождения глубинных термальных вод и парогидротерм располагаются вблизи действующих или недавно потухших вулканов, выполняющих роль активизаторов режима в вулканогенно-осадочных водоносных комплексах.

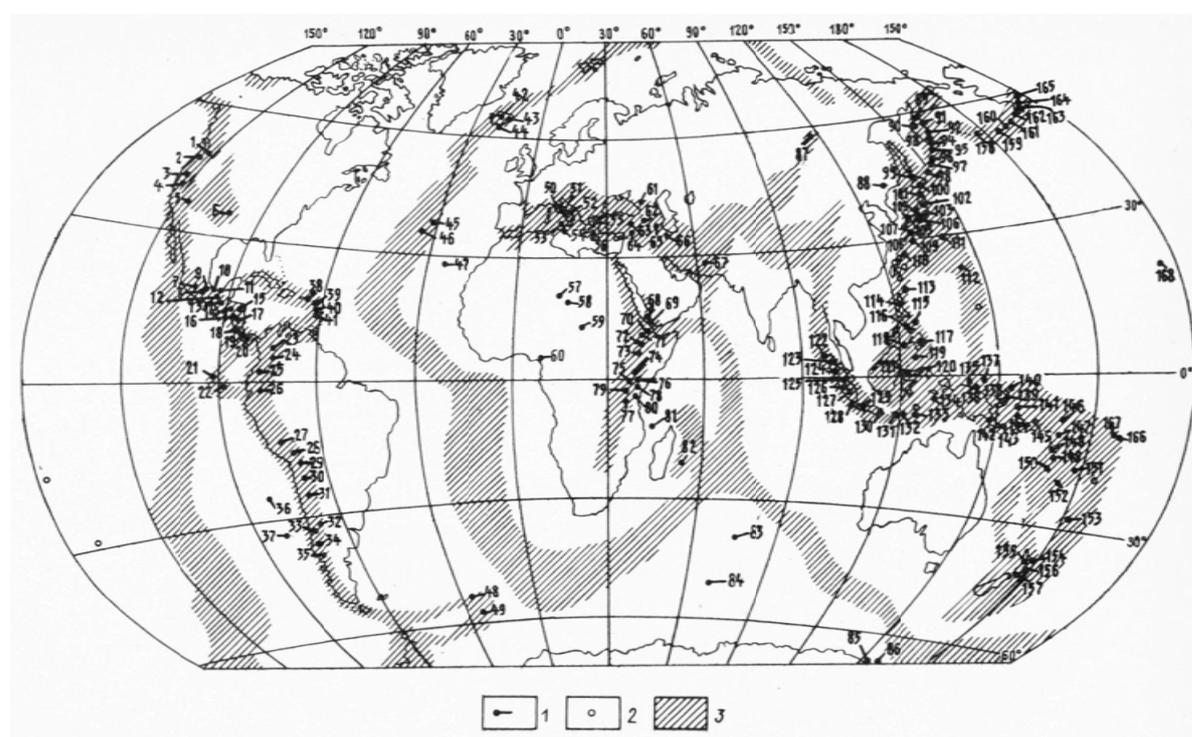


Рис. 4. Схема проявления современного вулканизма и активной сейсмичности (Е.А. Басков, С.Н. Суриков):

- 1) действующие наземные вулканы; 2) действующие подводные вулканы;
- 3) активные сейсмические зоны

II группа месторождений термальных вод: краевые прогибы, межгорные и предгорные впадины, периферические части складчатых сооружений – характеризуются большой мобильностью, разнообразием

тектонических движений и связанными с ними процессами миграции термальных вод и флюидов. Здесь наблюдается накопление мощных терригенных и карбонатных толщ, проявление складчатости, а также наряду с термальными водами присутствие в горных породах нефти и газа.

III группа месторождений термальных вод: плиты платформ, поверхность фундамента которых погружена на значительную глубину (3-5, а местами до 10 км) и перекрыта мощными толщами преимущественно осадочных пород. Возраст покровных толщ от рифея до Mz – Kz. Максимальная мощность разреза наблюдается в глубоких впадинах плит. К платформенным плитам (Западно-Сибирской, Скифской, Туранской) приурочены крупные артезианские бассейны или системы бассейнов, содержащие массу термальных вод, нагретых до разных температур, разного состава и минерализации.

**Фациально-литологическая обстановка.** Установлено, что термальные воды могут быть приурочены к морским, прибрежно-морским и континентальным фациям. На размещение термальных рассолов большое влияние оказывают галогенные фации.

В геоморфологическом плане разгрузки термальных вод часто приурочены к пониженным участкам, например к погребенным формам рельефа (долины рек, озерные впадины, бассейны морей и др.). Известны случаи внедрения напорных термальных вод в речные холодные воды в долинах рек Волги и Камы. Значительная разгрузка глубинных терм наблюдается на дне Красного, Каспийского и Карибского морей.

**Гидродинамическая обстановка.** Наиболее ярко проявляется миграция термальных вод в районах современного и молодого вулканизма в периоды выделения вулканами и фумаролами глубинных парогидротерм. При этом, как отмечают А.В. Щербаков и С.Л. Шварцев, большая часть глубинного высокотемпературного флюида имеет не ювенильное (мантийное), а метаморфическое (коровое) происхождение, то есть изначально эта вода является инфильтрационной, хотя и существенно измененной в ходе геологического круговорота. Вопрос о доле участия ювенильных вод в рассматриваемых системах остается открытым.

Особые гидродинамические условия характерны для межгорных впадин и краевых прогибов с имеющимися в их пределах структурными поднятиями (купола, брахиантиклинали и т.д.). Эти структуры

являются участками подземного дренажа, в сторону которых напорные термальные воды часто поднимаются по водоносным горизонтам и тектоническим нарушениям из тектонических депрессий.

В закрытых платформенных условиях миграция термальных вод более затруднена. Здесь характерны скрытые очаги разгрузки термальных вод за счет перетекания из одного горизонта в другой, в особенности в древних аллювиальных образованиях долин больших рек.

**Термобарическая обстановка.** Высокая температура подземных вод способствует растворимости минералов и определяет распределение летучих элементов I, Br, F и других между жидкой и газообразной фазами. Поэтому термальные воды более насыщены ценными химическими компонентами, чем холодные. Высокое парциальное давление способствует удержанию летучих соединений в растворе. Сильно пониженное давление наоборот вызывает быстрое выделение летучих компонентов (Rn, B, F, I, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S и др.).

Многообразие гидротерм в геологических условиях их проявления приводит к формированию специфических форм их разгрузки, которые не встречаются в других районах. Это фумаролы, гейзеры, паровые струи, термальные родники (рис. 5).

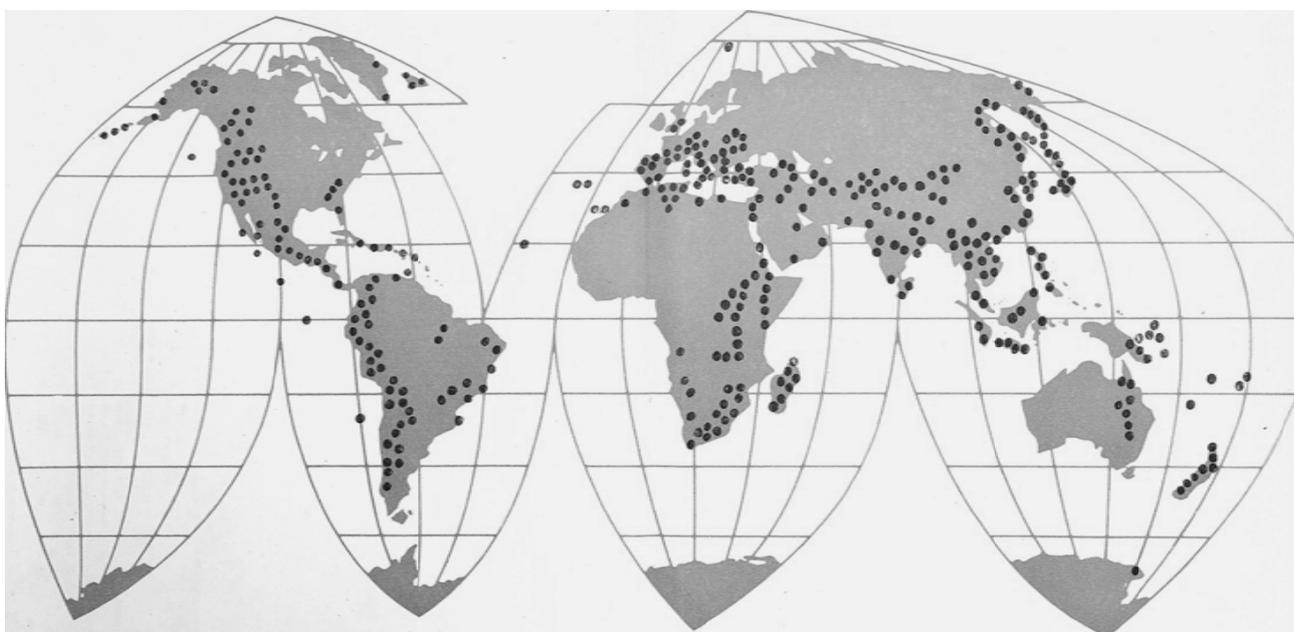


Рис. 5. Схема распространения гидротермальных вод на Земле  
(Е.А.Басков, С.Н.Суриков)

Фумаролы – это вулканические эманации в виде парогазовых струй или спокойных выделений газов из трещин и каналов в жерлах, на внутренних стенках, внешних склонах вулканов (первичные фумаролы) или на поверхности неостывших лавовых потоков и пирокластических покровов (вторичные фумаролы). В зависимости от стадии вулканизма они имеют разный газовый состав и температуру. Фумаролы разделяются на: 1) собственно фумаролы (преимущественно хлористо-сернисто-углекислые газы с температурой до 800°C); 2) сольфатары (парогазовые струи с преобладанием сероводорода или сернистого газа с температурой 90-300°C); 3) мофеты (преимущественно углекислые парогазовые струи с температурой до 100°C).

Гейзеры (от района Гейзер в Исландии) – это своеобразные родники, периодически, строго закономерно выбрасывающие воду и пар. По современным представлениям гейзерный процесс обосновывается смешением двух потоков с различным теплосодержанием (эндогенного пара и инфильтрационной воды). Извержение гейзера представляется как взрыв, происходящий в результате быстрого выделения энергии перегрева воды. Самая высокая насыщенность гейзерами наблюдается в Йеллоустонском парке США, где известно 200 гейзеров. Самый мощный гейзер на Земле – Вайманг в Новой Зеландии, выбросил 800 тонн воды на высоту 450 метров.

В России гейзеры широко распространены на Камчатке (Долина Гейзеров) и Курилах.

### ***Глава 3. Основные типы термальных вод по кислотно-щелочным свойствам***

Е.А. Басков, С.Н. Суриков за основу систематизации термальных вод приняли кислотно-щелочные свойства, определяемые рН, анионным и газовым составом.

По кислотно-щелочным свойствам термальные воды подразделяются на две основные группы: кислые рН < 4,5 и щелочные (и слабокислые) рН > 4,5. Эти воды резко различаются по условиям карбонатного равновесия, обладают различной химической активностью. В группе кислых вод отсутствует соединения карбонатов и гидрокарбонатов, для них свойственен часто весьма специфический компонентный состав (наличие  $H^+$ , высоких концентраций  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  и т.п.). Дальнейшее подразделение вод производится по их анионному, а затем по газовому составу. Газовый состав термальных вод учитывается

в их классификации, не является определяющим, но важным показателем условий их формирования.

**Классификация термальных вод по химическому составу  
(Е.А.Басков, С.Н. Суриков, 1989)**

Группы	Классы	Подклассы
Кислые, рН < 4.5	Хлоридные	Сероводородно-углекислые
		Водородно-углекислые
		Азотно-углекислые
		Углекислые
		Азотные
		Метановые
	Сульфатные	Сероводородно-углекислые
		Азотно-углекислые
		Углекислые
Кремневокислые	Водородно-углекислые	
Щелочные (и слабокислые) рН > 4,5	Хлоридные	Сероводородно-углекислые
		Водородно-углекислые
		Азотно-углекислые
		Углекислые
		Азотные
		Метановые
	Сульфатные	Сероводородно-углекислые
		Водородно-углекислые
		Азотно-углекислые
		Углекислые
		Азотные
		Метановые
	Гидрокарбонатные (Карбонатные)	Сероводородно-углекислые
		Азотно-углекислые
		Углекислые
		Азотные
		Метановые
	Кремневокислые	Водородно-углекислые
		Сероводородно-углекислые
		Азотные

*Кислые хлоридные гидротермы* широко распространены в пределах суши в областях современного вулканизма. Выходы этих терм наблюдаются здесь на фумарольных полях действующих вулканов и представляют собой естественные (природные) конденсаты фумарольных газов. Дебиты источников этих гидротерм обычно составляют от 0,1 до 2,3 л/с, реже 5-10 л/с и более, температура 70-100°C, рН от 2 до 2,5. Минерализация кислых фумарольных вод различна и составляет от 3-5 до 10-50 г/дм<sup>3</sup>.

Газовый состав кислых хлоридных терм в области суши в основном сероводородно-углекислый и углекислый, реже водородно-углекислый и азотно-углекислый. Выходы кислых хлоридных гидротерм в областях современного вулканизма установлены и в субаквальных условиях на глубинах 2-3 км в сводовых частях срединно-океанических хребтов.

Кислые хлоридные термы с минерализацией от 250-270 г/дм<sup>3</sup> до 400-420 г/дм<sup>3</sup> представлены хлоридными кальциево-натриевыми и кальциевыми рассолами широко распространены в артезианских бассейнах (в том числе и на шельфе), содержащих галогенные формации.

*Кислые сульфатные термальные воды.* Источники кислых сульфатных терм встречаются обычно на фумарольных полях, в кратерах, кальдерах и на склонах действующих вулканов в областях суши. Большой частью выходы этих гидротерм наблюдаются в виде «кипящих» грязевых котлов и рассеянных восходящих источников с температурой от 30-40 до 90-100°C (чаще 70-90°C). Значения рН изменяются обычно от 1-2 до 3, редко 4-4,5. Общая минерализация сульфатных терм колеблется от 1-2 до 3-5 г/дм<sup>3</sup>, встречаются термы с минерализацией 10-20 г/дм<sup>3</sup> и, как исключение, до 92-100 г/дм<sup>3</sup> (воды озера-кратера вулкана Иджен на Яве). Значения Eh этих терм, по данным А.В. Зотова, на вулканах Курильских островов изменяются от +150 до +350 мВ.

Главными анионами являются  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{HSO}_4^-$ . Катионный состав кислых сульфатных терм сложный: основными катионами являются часто  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}^+$ . Для этих терм характерны высокие концентрации  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  – 200-300 мг/дм<sup>3</sup>. В газовом составе преобладает  $\text{CO}_2$  со значительной примесью сероводорода или азота.

*Кислые кремневокислые термальные воды.* Кислые гидротермы, в ионно-солевом составе которых преобладает  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ , известны в районах активного вулканизма Исландии. К ним относятся конденсаты

естественных паровых струй гидротермальной системы Наумафьядль. Температура их около 100°C, pH 4,4. Содержание  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  в них составляет 234 мг/дм<sup>3</sup> при общей минерализации 307 мг/дм<sup>3</sup>. Газовый состав терм водородно-углекислый.

*Щелочные (и слабокислые) хлоридные термальные воды.* Хлоридные гидротермы этой группы распространены весьма широко в структурах разного типа. Наиболее полно они изучены в пределах суши в областях современного вулканизма и в артезианских бассейнах. В них преобладает углекислый газ, а в районах действующего вулканизма характерны примеси сероводорода. Источники щелочных (и слабощелочных) хлоридных терм наблюдаются часто у подножий вулканов. Температура колеблется от 40-50 до 80-90°C, дебиты их изменяются от 1-10 до 50-100 л/с. Особенно хорошо они изучены в Японии, Новой Зеландии, Филиппинах, в США – в Йеллоустонском парке и др., в России – юго-восточная Камчатка, Курильские острова. Минерализация воды составляет от 1-3 до 15 г/дм<sup>3</sup>, часто характерно повышение содержания As от 8-10 до 40-60 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  до 50-100 мг/дм<sup>3</sup>, Li 2-10 мг/дм<sup>3</sup>, Rb 1-3 мг/дм<sup>3</sup>, Cs 2-5 мг/дм<sup>3</sup>,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  до 100-200 реже до 300-500 мг/дм<sup>3</sup>.

Термальные щелочные (и слабокислые) хлоридные сероводородно-углекислые воды (и углекисло-сероводородные) соленые воды и рассолы установлены в некоторых артезианских бассейнах с наличием галогенных формаций.

Щелочные (и слабокислые) хлоридные азотные термальные воды довольно широко распространены на восточном побережье Азии и западном побережье Северной Америки.

Хлоридные метановые термальные воды распространены в Восточно-Камчатском бассейне, в Японии – на нефтегазовых месторождениях Мобара, Утино и др. В водах артезианских бассейнов Японии наблюдается высокое до 120 мг/дм<sup>3</sup> содержание йода.

*Щелочные (и слабокислые) сульфатные термальные воды.* Сульфатные углекислые термы этой группы достаточно разнообразны по составу и минерализации, но встречаются довольно редко. Источники сульфатных углекислых терм известны в районах действующих вулканов Камчатки, Курил, Японии, Калифорнии. Температура их достигает 60-100°C, минерализация 0,8-1,5 г/дм<sup>3</sup>. Своеобразные углекислые рассолы с минерализацией 260 г/дм<sup>3</sup> наблюдаются в скважине Чезано-1 (глубина около 1400), в кальдере Браччано в Центральной Италии

(в 15 километрах севернее Рима). Сульфатные углекислые термы встречаются и в областях новейшего и современного вулканизма (Карпаты, Альпы, Кавказ). В Богемском массиве встречаются углекислые термы сульфатного натриевого состава с минерализацией до 7-8 г/дм<sup>3</sup>. Близки к ним здесь и гидрокарбонатно-сульфатные углекислые термы Карлсбада (Карловых Вар).

В артезианских бассейнах с галогенными формациями иногда встречаются метаново-сероводородно-углекислые сульфатные термы. Они изучены в Месопотамском бассейне в Северо-Западном Ираке.

Сульфатные азотные термы широко распространены в складчатых областях с новейшими тектоническими движениями. Характерным для этих терм является довольно высокое содержание кремнекислоты (до 100-300 мг/дм<sup>3</sup>) и фтора до 10 и более мг/дм<sup>3</sup>. Значение рН в них достигает 8,5-9,5; в составе растворенных газов преобладает азот (до 95-99%). Распространены в Рионском бассейне на Кавказе (Цаиши, Гагра), Таджикском (Шаамбары), Амударьинском (Ашхабад, Фараб).

*Щелочные (и слабокислые) гидрокарбонатные (карбонатные) термальные воды.* Гидрокарбонатные углекислые термы имеют довольно широкое распространение. Они известны в областях современного и четвертичного вулканизма. Условия их распространения характеризуются большим разнообразием. На Камчатке на Паужетской термальной площади кроме щелочных хлоридных натриевых сероводородно-углекислых терм также встречаются источники гидрокарбонатного состава с минерализацией 0,28 г/дм<sup>3</sup>. В районах четвертичного вулканизма гидрокарбонатные углекислые термы приурочены обычно к зонам разломов и формируются как в пределах складчатых структур, так и в артезианских бассейнах. Эти углекислые гидрокарбонатные термы хорошо изучены во многих регионах – Кавказ, Карпаты, Балканы, Альпы, Малая Азия, Анды, Калифорния и т.д.

*Щелочные (и слабокислые) кремневокислые термальные воды.* Щелочные кремневокислые термы довольно широко распространены в Исландии в районах современного вулканизма. К ним, в частности, относятся термы Наумафьядль, Несьяведлир. Температура этих терм на поверхности Земли около 100°C. В их составе резко преобладает кремнекислота, а среди катионов – натрий. Характерны низкие содержания (около 20 мг/дм<sup>3</sup>) хлор-иона. В составе газов преобладают водород и углекислота.

Своеобразные слабокислые (рН около 5-6) кремневокислые термы с общей минерализацией до 70 мг/дм<sup>3</sup> известны в Индии в штате Бихар. Температуры этих терм достигают 48-65°C. В составе газов, вытекающих из кристаллических докембрийских образований, отмечается наличие углекислоты.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие минеральные воды относятся к термальным и субтермальным?
2. Поясните роль рифтовых зон Земли в формировании термальных вод.
3. Как связано изменение температуры гидротерм с глубиной, где формируются перегретые минеральные воды?
4. Что такое мофетты и сольфаторы?
5. Где используется энергия гидротерм?

### ***Основная литература***

1. Басков Е.А., Суриков С.Н. Гидротермы Земли. – Л.: Недра, 1989.
2. Поляк Б.Г., Вакин Е.А., Овчинникова Е.Н. Гидротермические условия вулканического района Камчатки. – М.: Недра, 1965.

### ***Дополнительная литература***

1. Грачев А.Ф. Рифтовые зоны Земли. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 285 с.

## Раздел VI. Минеральные озера и грязи

### Глава 1. Типы минеральных озер

Минеральными или соляными называют озера с содержанием суммы солей от  $35 \text{ г/дм}^3$  и выше. Граница между солоноватыми и солеными озерами определена самой концентрацией солей в морской воде. Следовательно, минеральными озерами называются такие, содержание солей в водах которых или равно или более содержания солей в морской воде. Хотя следует отметить, что опыт лечебного использования минеральных озер показывает, что минерализация в них бывает значительно ниже установленной для промышленных вод, если они эффективно применяются в бальнеологических целях.

Верхний предел содержания солей зависит от степени растворимости солей, температуры воды и прочего. Встречаются озера, рассолы которых содержат до  $450 \text{ г/дм}^3$  растворенных солей.

Рассолы озер, так называемая рапа – это водные растворы, в той или иной степени насыщенные солями, причем молекулы солей в них в силу электролитической диссоциации присутствуют в виде ионов, это катионы  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и анионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ . Кроме того, в водах озер присутствует ряд других ионов, из которых бальнеологическое и промышленное значение иногда приобретают бром, бор и калий.

Название соляные, а не соленые озера объясняется тем, что в рапе содержатся разнообразные соли и вкус ее может быть не только соленым, но и горько-соленым, горьким или другим. Классификация минеральных озер основана на химическом составе рапы (табл.). В природе нет химически чистых рассолов. Они обычно представляют раствор нескольких солей, поэтому соляные озера выделяются по преобладающим анионам и катионам и характерным комбинациям солей. В настоящее время при изучении соляных озер пользуются классификацией М.Г. Валяшко, согласно которой минеральные озера делятся на три типа. Эта классификация сопоставима с классификациями В.А. Сулина и О.А. Алёкина с добавлениями В.Е. Посохова.

К четвертому типу (по О.А. Алекину) должны относиться редко встречающиеся кислые минеральные озера.

Типы природных озерных вод			Типы минеральных озер
М.Г. Валяшко	В.А. Сулин	О.А. Алекин Е.В. Посохов	Н.И.Толстихин
Карбонатный	Гидрокарбонатно-натриевый	I	I Доронинский
Сульфатный подтип	Сульфатно-натриевый	II	II Иссыккульский
	Хлор-магниевый	III а	III Сакский
Хлоридный	Хлоридно-кальциевый	III б	IV Тинакский
Кислые воды	Аналогов нет	IV	V Курильский

Дадим краткую характеристику этих типов минеральных озер.

**1. Карбонатный или содовый Доронинский тип** ( $\text{HCO}_3^- > \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$ ). Солевой состав  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ , – сода полностью отсутствует в остальных типах озер. Кроме соды в рассолах карбонатных озер в больших концентрациях может содержаться хлористый натрий. В летнее время, вследствие испарения рапы, в содовых озерах могут садиться трона ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), галит ( $\text{NaCl}$ ), мирабилит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ), тенардит ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) и некоторые редкие минералы. Зимой ввиду сильного охлаждения рапы – десятиводная сода  $\text{NaHCO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  и мирабилит. Природные содовые образования – важный и экономически выгодный источник производства кальцинированной соды. Однако содовые минеральные озера встречаются в природе очень редко. В Казахстане незначительные содовые озера обнаружены в долинах рр. Или, Иртыша, в Кустанайской области. Своеобразной провинцией содового засоления являются Кулундинская и Барабинская степи в Западной Сибири.

Классификация основных типов природных вод и озер

Формулы Курлова, поясняющие состав данных озер:

$$\text{I озеро Доронинское: } M_{14,6} \frac{\text{HCO}_3 + \text{CO}_3 \cdot 74 \text{ Cl} \cdot 25 [\text{SO}_4 \cdot 1]}{(\text{Na} + \text{K}) \cdot 100};$$

$$\text{II озеро Иссык-куль: } M_{5,8} \frac{\text{Cl} \cdot 48 \text{ SO}_4 \cdot 47 [(\text{HCO}_3 + \text{CO}_3) \cdot 5]}{\text{Na} + \text{K} \cdot 68 \text{ Mg} \cdot 25 \text{ Ca} \cdot 7};$$

III озеро Саки:  $M_{120} \frac{Cl_{91}[SO_4 8(HCO_3 + CO_3) 1]}{(Na+K)_{75} Mg_{23} [Ca]_2} Br;$

IV озеро Тинаки:  $M_{317-386} \frac{Cl_{70-89} SO_4_{11-30}}{Ca_{32-70} Mg_{22-67} [(Na+K)_{0-1}]} Br;$

V озеро Головинское:  $M_{1,8} \frac{Cl_{83}[SO_4 + HSO_4]_{17}}{(Na+K)_{51} Ca_{22} [H]_{11}} pH_{2,5} t_{30}^{\circ};$

В Кулундинской степи содовые озера встречаются в древних долинах, в зоне произрастания соснового бора. Эти озера эксплуатируются, но запасы их незначительны. Содовые озера имеются в Бурятии и Читинской области. Крупные содовые озера известны в районах действующего вулканизма Восточной Африки (Кения, Танзания).

**2. Сульфатный тип озер.** По химическому составу рапы выделяется высоким содержанием сульфатов натрия и магния. Рассмотрим подтипы сульфатных озер.

Сульфатно-натриевый подтип (Иссыккульский) ( $HCO_3^- < Mg^{2+} + Ca^{2+} < HCO_3^- + SO_4^{2-}$ ). Включает все сульфатные и некоторые другие соли:  $Na_2SO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $NaCl$ ,  $Mg(HCO_3)_2$ ,  $Ca(HCO_3)_2$ . Летом из рапы такого состава может происходить осадка мирабилита, тенардита, астраханита ( $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ ), галита, в небольших количествах эпсомита ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) и других минералов. Зимой в твердую фазу из рапы выделяются мирабилит и эпсомит. К сульфатно-натриевому подтипу относятся озера с речным соленакоплением (Ажбулат в Прииртышье, Тениз-Нуринский и Карасор в центральном Казахстане, Аралсор и Аралтюбесор в Прикаспийской низменности). Озера этого подтипа имеют практическое значение для добычи сульфата натрия (мирабилита, тенардита).

Хлор-магниевый или сульфатно-магниевый подтип (Сакский) ( $Cl^- > Na^+$ , но  $Cl^- < Na^+ + Mg^{2+}$ ) характеризуется следующим солевым составом:  $NaCl$ ,  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ ,  $CaSO_4$ ,  $Mg(HCO_3)_2$ ,  $Ca(HCO_3)_2$ . Из рапы его отлагаются примерно те же соли, что у предыдущего подтипа, однако в иных пропорциях. Хотя в данной рапе сульфатов натрия нет, в ней может кристаллизоваться мирабилит ( $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ ) и тенардит ( $Na_2SO_4$ ), так как в процессе кристаллизации солей состав рассола постепенно метаморфизуется и в нем появляются новые сочетания (предполагаемые соли) анионов с катионами. Озера хлор-магневого подтипа очень широко развиты в пустынной или полупустынной зоне.

Они могут иметь как континентальное, так и морское происхождение (Кора-Богаз-Гол).

В Пермском крае известны мелкие карстовые сульфатно-кальциевые озера. В бальнеологии применяются грязи Осиного и Кислого озер. Перспективными для бальнеологического использования являются Кротовское озеро г. Кунгура, озеро Корсаки Ачитского карстового района и озера-старицы рек Ирени и Шаквы.

**3. Хлоридный тип озер (Тинакский) ( $Cl > Na^{++} Mg^{2+}$ ).** Солевой состав:  $NaCl$ ,  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $CaSO_4$ ,  $Ca(HCO_3)_2$ . Летом из такой рапы возможна осадка галита, гипса, некоторых редких минералов, например бишофита  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ .

Зимой может кристаллизоваться гидрогалит –  $NaCl \cdot 2H_2O$ . Озера этого типа, содержащие хлориды кальция, встречаются редко. Хлориды кальция – специфический элемент глубинной обстановки; в поверхностных условиях он становится неустойчивым из-за присутствия в поверхностных водах солей-антагонистов –  $Na_2SO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $NaHCO_3$  и др. В Казахстане озёра хлоридного (точнее хлор-кальциевого) типа образуются только в тех случаях, когда в их питании участвуют подземные воды, содержащие хлориды кальция. Такие же озера имеются в Прикаспийской низменности. К этому же типу относится Мертвое море, в водно-солевом балансе которого существенную роль играют глубинные хлоридные кальциево-натриевые рассолы.

**4. Кислые воды.** Курильский тип может быть охарактеризован кратерным озером Головинского вулкана на острове Кунашире (Курильские острова). Воды этого типа озер кислые, соляно-кислые, сернокислые и смешанного состава; образование их связано с вулканическими эксгаляциями (летучие газообразные вещества).

За период существования минерального озера в составе его соляной массы могут происходить изменения – метаморфизация.

Согласно М.Г. Валяшко, между химическими типами озер существует генетическая связь. Прямой ход метаморфизации идет следующим образом: карбонатный тип → сульфатный тип → хлоридный тип; обратный – наоборот, от хлоридного к карбонатному. Ход метаморфизации зависит от физико-географических условий, в которых находится озеро.

Оценка прямого типа метаморфизации воды в минеральных озерах производится по коэффициенту метаморфизации, предложенному акад. Н.С. Курнаковым и представляющему собой отношение

MgSO<sub>4</sub>/MgCl<sub>2</sub>. Уменьшение данного коэффициента указывает на исчезновение сульфатов из озерной воды, которое может быть вызвано процессом биохимического восстановления сульфатов (десульфатизацией).

Прямой процесс идет при увеличении сухости климата, что вызывает концентрацию рассолов и тенденцию перехода в хлоридный тип.

Обратное направление, т.е. накопление SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, а затем HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> связано с увлажнением климата, понижением минерализации природного раствора и изменением гидродинамических условий.

## *Глава 2. Разновидности лечебных грязей и их распространение*

При рассмотрении минеральных озер отмечалось, что они являются ценными месторождениями минерального сырья, но этим не ограничивается их практическое значение. На дне их в большинстве случаев имеются более или менее мощные отложения минеральных грязей. В минеральных самосадочных озерах минеральная грязь сверху покрыта коркой соли, иногда очень мощной. В несамосадочных (рапных или рассольных) озерах она непосредственно лежит под рапой. Корка соли осложняет добычу грязи, а кристаллы соли, попадающие в грязь, засоряют ее. Лечебная грязь формируется также в слабосоленых и даже в совершенно пресных водоемах.

Под термином лечебная грязь, согласно международной терминологии, понимаются пелоиды (pelos – с греч. грязь, ил), к которым относятся торфы, глины и другие естественные образования, употребляемые для грязелечения.

**Известный бальнеолог В.А. Александров под пелоидами понимает вещества, которые образуются в естественных условиях под влиянием геологических процессов и в тонко измельченном состоянии, будучи смешаны с водой, применяются в виде ванн и местных аппликаций.**

Природа пелоидов весьма разнообразна. В зависимости от соотношения содержащихся в грязях химических соединений различают органические (торфы и сапропели) и минеральные (иловые сульфидные, сопочные и коллоидные грязи) пелоиды.

Пелоиды играют важную роль в лечении заболеваний костно-мышечной системы и внутренних органов. В лечебном действии пелоидов на организм человека решающее значение имеют их физико-химические свойства и компонентный состав. Химические компонен-

ты пелоидов – газы, микроэлементы, биологические вещества типа половых гормонов и т.п. – проникают через кожу, оказывают влияние на течение обменных процессов, иммунной реактивности организма, способствуют регуляции и восстановлению нарушенных функций.

По своему происхождению лечебные грязи подразделяются на следующие типы: *торфяные, сапропелевые, иловые, коллоидные, сопочные.*

*Торфяные грязи* – органические болотные отложения, образовавшиеся в результате частичного бактериального разложения простейших растений в условиях обильного увлажнения и слабого доступа кислорода. Лечебные торфы содержат 30-80% органических веществ, много растительных остатков с высокой степенью разложения. В их состав входят белки, гуминовые кислоты, битумы, жиры, ферменты, фенолы, коллоидные и кристаллические вещества. Цвет торфяных грязей бурый с различными оттенками. Такие грязи широко и давно используются на курорте Варзи-Ятчи в Удмуртии. Они также распространены в заболоченных долинах крупных рек Предуралья и Среднего Поволжья.

*Сапропелевые грязи* – илы пресных водоемов с высоким содержанием (28-70%) органических веществ и воды, образовавшиеся в результате многократной макро- и микробиологической переработки водных растений и простейших животных. Они представляют собой тонкоструктурные коллоидные образования зеленовато-коричневого, зеленовато-серого или черного цвета. В сапропелях найдены ферменты, витамины, гормоны, антибиотикоподобные вещества и другие биологически активные соединения. Эти грязи широко распространены в старых искусственных прудах. Такие грязи содержатся на дне Добрянского, Нытвенского, Полазненского, Очерского, Чёрмозского и других прудов Пермского края.

*Иловые грязи* – илы водоемов, относительно бедные органическим веществом (менее 10%) и, как правило, богатые сульфидами железа и водорастворимы солями. Они часто распространены в районах развития сульфатного и соляного карста. Это черная масса мазеподобной консистенции, бархатистая на ощупь. В этих грязях также содержатся биологически активные вещества – ферменты, гормоноподобные соединения, микроэлементы, сероводород и др. В Предуралье они разрабатываются для бальнеологии в Суксунском пруду; известны в Тисовском пруду и Тюйном озере на юге Пермского края. На севере края

в долине р. Пильва известны выходы сероводородных вод и сульфидных грязей в озере Коч. В Кировской области иловые грязи озера Шинник используются в районе Нижнее Ивкино в санатории «Золотой колос».

*Коллоидные грязи* – тонкодисперсные соединения (частицы 0,01 мм), представленные органическими веществами, органо-минеральными соединениями, серой, фосфором, гидроксидами железа, алюминия и др. Наиболее перспективными районами Прикамья является долина р. Яйва в районе с. Усть-Игум и долина р. Шаква в Кисертском районе. Коллоидные грязи лагунно-морского генезиса широко используются в санаториях и курортах Анапы, Евпатории, Одессы и других Черноморских городов.

*Сопочные грязи* – измельченные полужидкие глинистые образования серого цвета, содержащие мало органических веществ и много микроэлементов. Являются в основном продуктом деятельности грязевых вулканов. Как и гидротермальные грязи, они мало используются в лечебных целях. Эти грязи широко распространены в Прикаспийской, Черноморской и Азовской выпадинах. Месторождение этих грязей известно в районе Петропавловска-Камчатского и используется вместе с термальными водами в доме отдыха «Паратунка».

Иногда выделяют также *родниковые (ключевые) грязи*, которые приурочены к зонам разгрузки минеральных вод. В качестве примера приведем ключевые грязи Пермского Предуралья. Они выявлены на территории распространения гипсово-соляного карста в районе озера Чусовского, речек Еловка, Березовая, Вишерка, Язьва, Яйва и др. Здесь наиболее широко распространены выходы соленых вод хлоридно-натриевого типа. Пока этот тип грязей мало изучен и запасы их не определены.

По Международной классификации выделяются следующие типы пелоидов:

**1. Неорганические грязи** – главным образом тонко измельченные неорганические вещества и вода с небольшим содержанием органического вещества. К ним относятся лиманские грязи, встречающиеся на побережье Черного моря; морские грязи, материковые, то есть отложения в озерах, ключевые, образующиеся у выходов термальных и холодных источников.

**2. Органические грязи** – сапропели и гитии, преимущественно органическое вещество растительного и животного происхождения с

некоторой примесью глин, мела, песка и пр., образуются на дне лиманов, морей и материковых озер.

3. **Торфяные грязи** – главным образом гумифицированное органическое вещество и растительные остатки с примесью большего или меньшего количества неорганического вещества.

4. **Смешанные виды пелоидов.**

5. **Продукты выветривания пород** – каолин и некоторые другие глины.

6. **Искусственные пелоиды**, например парафин.

На грязевых курортах юга России и ближнего зарубежья используются в основном грязи неорганического состава, а в северной части РФ и на большинстве зарубежных курортов – органические или смешанные (торфы, сапропели). Объясняется это тем, что южная полоса обладает огромным количеством соляных грязевых озер различного состава. Торфы и сапропели – отложения пресных водоемов, сосредоточенных преимущественно в северных районах нашей страны. Грязями неорганического происхождения пользуются курорты Одессы, Евпатории, Саки, Бердянска, Кавказских минеральных вод, Сергиевских минеральных вод и ряд других.

**Состав и физико-химические свойства грязей.** В настоящее время считают, что минеральная грязь состоит из трех основных частей: кристаллического остова или скелета, коллоидного комплекса и грязевого раствора.

Кристаллический скелет состоит из двух частей. Одна часть представлена силикатными (глинистыми или песчаными) частицами различного диаметра, которые в процессе грязеобразования заимствуются со дна озера или приносятся ветром и дождевыми водами, другая – кристаллами солей кальция и магния ( $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), которые могут выпадать из раствора при засолении озера. Годная к употреблению грязь должна быть однородной и состоять из мельчайших частиц, так как крупные могут вызвать ожоги и царапины на теле больного. В хорошей лечебной грязи количество частиц диаметром более 0,25 мм должно быть минимальным. Чем меньше крупных частиц, тем ценнее грязь, тем больше ее коллоидность.

По С.А. Щукареву, главной составной частью коллоидного комплекса иловой грязи следует считать совокупность глинистых частиц разнообразного состава величиной менее 0,1μ (0,00001 мм), а также органическое вещество. Присутствие коллоидного FeS (сернистого

железа) придает ей черную окраску (при содержании FeS 1-2%), при меньшем содержании FeS получаются грязи темно-серые (0,1-0,3%) и светло-серые (0,03-0,01% и меньше).

На открытом воздухе грязь теряет черную окраску вследствие разрушения FeS и окисления его кислородом воздуха. Поэтому при хранении грязи необходимо поддерживать ее влажной. Хорошо сохраняется грязь под слоем соленой воды или рапы, которая почти не содержит растворенного кислорода.

От наличия мельчайших частиц коллоидного комплекса зависит одно из главных свойств грязей – пластичность, определяющая бальнеологическое значение грязи.

По мнению В.А. Александрова, чем пелоид гуще, то есть чем меньше в нем пропитывающей воды, тем терапевтическая ценность его выше.

Для всесторонней оценки лечебной грязи с практической целью определяются удельный вес, теплоемкость, теплопроводность, а также радиоактивность. Обычно удельный вес грязей колеблется от 1,1 до 1,8 г/см<sup>3</sup> и зависит, главным образом, от содержания воды. Теплопроводность грязей, по данным Е.С. Буксера, выше теплопроводности воды и изменяется от 1,3 до 1,8. Содержание радия в минеральных грязях  $0,11 - 1,08 \cdot 10^{-12}$  г на 1 г сухого вещества. Количество выделяемой грязью эманации выражается лишь в долях эмана, редко достигает одного эмана.

При установлении пригодности грязей для лечебного использования к ним предъявляют определенные требования.

Так, иловая сульфидная грязь Суксунского пруда, широко используемая для лечения на курорте «Ключи» и др. санаториях и курортах Пермского края, представляет собой черные и темно-серые илы, имеющие следующую характеристику: уд. вес 1,35-1,52 г/см<sup>3</sup>, влажность в среднем 0,55 кал/г град., сопротивление сдвигу 1100-700 дин/см<sup>2</sup>, количество сульфидов в грязях достигает 0,24% на 100 г сырой грязи; рН от 7,5 до 8,2; окислительно-восстановительный потенциал 10-20 мV; засоренность частицами более 0,25 мм небольшая (0,09-1,58%). Кристаллический скелет темно-серых илов составляет 29,61-32,17% естественного объема грязи. Содержание сероводорода (H<sub>2</sub>S) в среднем 20 мг на 100 г сырой грязи. Общая минерализация грязевого раствора 1,5-2,5 г/дм<sup>3</sup>. Это единственный район Пермского края, где проведены исследования запасов лечебных грязей и изучен

продуктивный слой максимальной мощностью 4,6 м. Суммарный запас иловых грязей пруда составляет около 2 млн м<sup>3</sup>.

Лечебные грязи (пелоиды) играют важную роль в лечении заболеваний костно-мышечной системы и внутренних органов. Они являются естественными раздражителями, обладающими сложной физико-химической структурой. При лечении под влиянием курсовых аппликаций пелоидов в организме человека происходят ответные реакции; устраняются патологические сдвиги эндокринного статуса организма.

Химический и тепловой факторы являются главными при использовании грязей в лечебных целях, т.е. их физико-химические свойства и компонентный состав имеют определяющее значение, поскольку некоторые химические компоненты пелоидов (газы, микроэлементы, биологические вещества типа половых гормонов и т.д.), проникая через кожу, оказывают влияние на течение обменных процессов, иммунную реактивность организма, способствуя регуляции и восстановлению нарушенных функций его (Н.М. Самутин, Н.Г. Кривобоков, 1997).

Поиск месторождений лечебных грязей требует постановки специальных исследований (выявление конфигурации скоплений грязей, глубины и мощности их залегания, физико-химических, бальнеологических свойств и экономической целесообразности их эксплуатации).

Для подсчета запасов грязей необходимы зондировочные буровые работы на самом озере. Для этого строят детальный топографический план озера, разбивают створы и в определенных местах закладывают буровые скважины. Густота зондировочной сети зависит от степени неоднородности грязевой залежи. На озере бурение производится со специального плота с люком. Для бурения иловых отложений А.И. Дзенс-Литовский сконструировал специальный илобур, состоящий из цилиндрической колонны штанг и обсадных труб для более глубокого бурения.

Наиболее перспективными площадями для поиска лечебных иловых грязей в Пермском крае являются Чердынский, Соликамский и Красновишерский районы.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные типы минеральных лечебных грязей.
2. Какие основные требования предъявляются к исследованиям лечебных минеральных грязей?

3. В чем отличие иловых сульфидных грязей от сапропелевых?
4. Перечислите бальнеологически активные компоненты коллоидных грязей.
5. Какие основные типы природных грязей используются в санаториях Поволжья и Прикамья?

### *Основная литература*

1. *Овчинников А.М.* Минеральные воды. – М.: Госгеолтехиздат, 1963.
2. Справочное руководство гидрогеолога. Том 1. – М.: Недра, 1979. – С. 160-162.

### *Дополнительная литература*

1. Актуальные вопросы грязелечения и бальнеофизиотерапии/ Коллектив авторов Пермской мед. академии и курорта Ключи. – Пермь, 2006. – 286 с.
2. Информационно-методические материалы по вопросам гидрогеологии и бальнеотехники лечебных вод и грязей. Вып. 4. – М., 1961. – 188 с.
3. Курорт Варзи-Ятчи. – Второе издание. – Ижевск: Удмуртия, 1972. – 104 с.
4. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края/ гл. ред. А.И. Кудряшов. – Пермь, 2006. – 463 с.
5. Материалы Всесоюзного симпозиума по вопросам разведки, изучения курортного использования минеральных вод и лечебных грязей. – М.: Профиздат, 1983. – 260 с.
6. Правила разработки и охраны месторождений минеральных вод и лечебных грязей. – М.: Изд-во Госгортехнадзора России, 1998.

## Раздел VII. Гидроминеральные ресурсы Среднего Поволжья и Прикамья

### *Глава 1. Санатории и курорты Республики Татарстан*

Республика Татарстан обладает значительными ресурсами минеральных питьевых и лечебных вод, заключенных в осадочной толще восточной части Восточно-Русской гидрогеологической провинции. Формирование химического состава минеральных вод находится в тесной зависимости от литологического состава водовмещающих пород и условий циркуляции в них. Распределение групп и типов минеральных вод носит в основном упорядоченный характер и подчинено вертикальной гидрохимической зональности. Вследствие этого в одном пункте можно получить несколько типов вод для внутреннего и наружного применения.

Однако в зонах свободного и замедленного водообмена встречаются аномалии, обусловленные нарушением выдержанности водоупоров в результате их размыва при формировании как древних, так и современных долин рек Волги и Камы, а также их крупных притоков. Определенную роль в миграции высокоминерализованных вод снизу вверх играют проводящие зоны, приуроченные к региональным дизъюнктивным нарушениям, а также к древнему и современному карсту. Трещиноватость гипсово-ангидритовых отложений пермского возраста в сводовых поднятиях положительных структур способствует проникновению пресных вод на значительные глубины и формированию минеральных вод аномального состава. На северо-западе и юго-востоке республики, где верхнеказанские отложения содержат легкорастворимые гипсы, подземные воды, заключенные в них, имеют также повышенную (до 3 г/дм<sup>3</sup>) минерализацию.

В Республике Татарстан минеральные воды широко и достаточно равномерно распространены по территории (рис. 6).

Проявления минеральных вод, которые используются или могут быть использованы для лечебно-питьевых целей, аналогичны известным типам вод на территории РТ, Российской Федерации и стран ближнего и дальнего зарубежья. Большая часть водопунктов с минеральными водами приходится на скважины (72%), далее следуют родники (24%) и наименьшая доля приходится на колодцы – (4%).

К настоящему времени среди минеральных питьевых вод встречаются слабо-, мало- и среднеминерализованные разновидности, которые приурочены к 12 гидростратиграфическим подразделениям кайнозойской, мезозойской и палеозойской эратем.

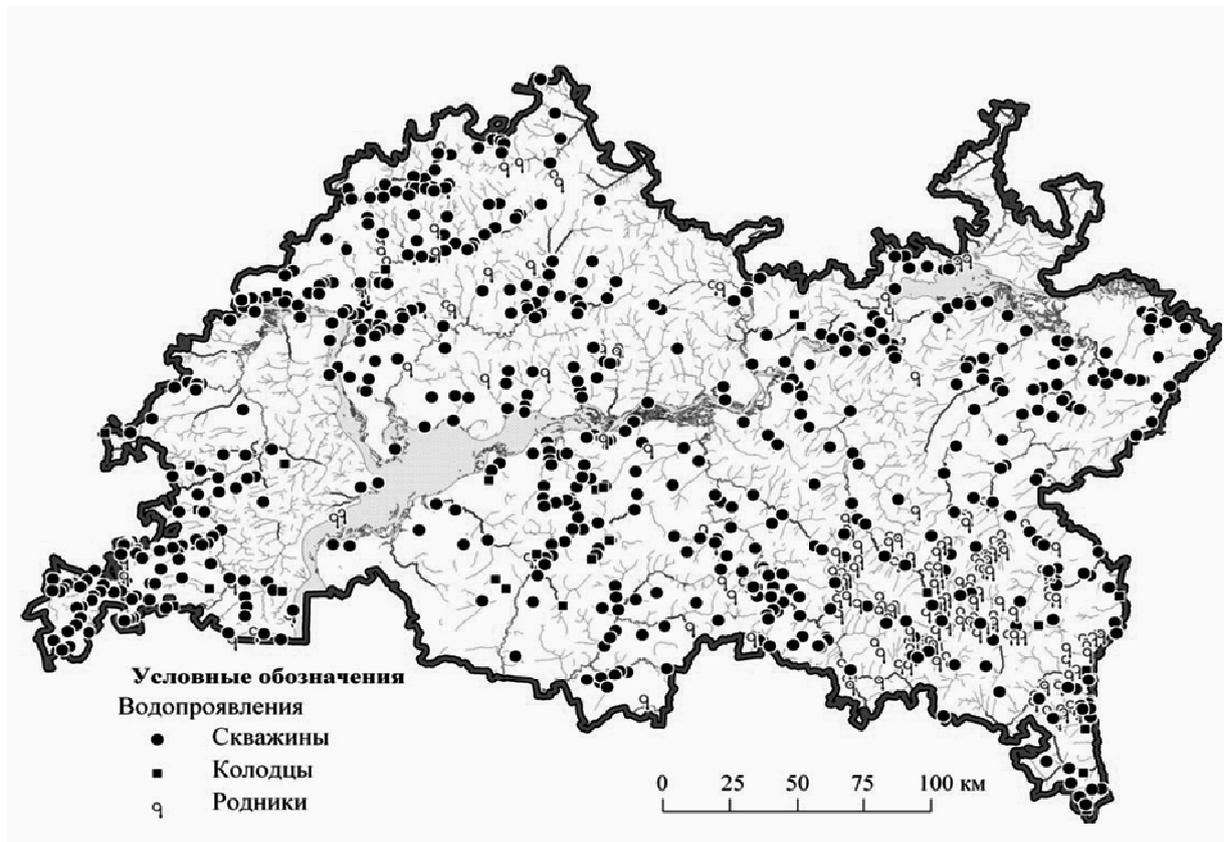


Рис. 6. Распределение минеральных питьевых вод по степени минерализации (Сунгатуллин, 2010)

Дополнительно к пяти стратонам (верхне- и нижнеказанский, шешминский, стерлитамакско-соликамский и каширско-ассельский комплексы), в которых известны месторождения минеральных вод, перспективно оценены семь новых стратонов: четвертичный, плиоценовый, нижнемеловой, средне-верхнеюрский, татарский, уржумский комплексы и волжско-валанжинский горизонт.

Это свидетельствует о том, что практически все водоносные комплексы верхней части литосферы РТ содержат минеральные питьевые воды. Преобладают минеральные воды в пермских подразделениях – более 85% всех проявлений, из которых более половины приходится на казанский ярус. Кайнозойские отложения содержат около 10% про-

явлений минеральных вод, мезозойские образования – 2,4%, а каменноугольные отложения – менее 2%.

Однако относительная доступность минеральных питьевых вод, обусловленная близостью залегания к поверхности земли, имеет и отрицательную сторону, так как в условиях зоны активного водообмена они подвержены влиянию дополнительных факторов, что может сказываться на режиме вод при промышленной эксплуатации (значительные изменения гидродинамических параметров, колебания во времени концентраций химических ингредиентов и т. п.). Кроме того, нередки случаи антропогенного загрязнения вод, которое приводит к техногенной трансформации состава подземной гидросферы и даже формированию «геохимически запрещенных» для данных природных условий минеральных вод.

В Республике Татарстан встречены 28 групп вод из известных 31 группы по ГОСТ 13273-88, а из возможных 225 комбинаций вод по химическому составу к настоящему времени обнаружены 136 типов. Самыми распространенными являются 6 наименований вод: сульфатная магниево-кальциевая; гидрокарбонатно-сульфатная магниево-кальциевая; сульфатная кальциевая; хлоридная магниево-кальциевая; гидрокарбонатно-сульфатная кальциевая; сульфатная магниево-кальциево-натриевая. На долю оставшихся 130 наименований приходится более 60% проявлений, что, наряду с их широким стратиграфическим распространением и разнообразным соотношением химических компонентов, подтверждает «всюдность» (по В.И. Вернадскому) минеральных питьевых вод на территории республики. Наиболее развиты следующие типы минеральных вод: «Краинский» (35% всех проявлений), «Казанский» (22%), «Смоленский» (10%), «Кашинский» и «Феодосийский» (по 7% каждый), «Ижевский № 1» (4%). Имеются также перспективы обнаружения в РТ месторождений и других типов вод, включая и такие известные как «Боржомский», «Нафтуса», «Кишиневский». При этом если на северо-западе и в центральной части РТ развиты преимущественно сульфатные воды (типы «Краинский», «Казанский», «Смоленский»), то на юго-востоке встречаются гидрокарбонатные натриевые («Дилижанский», «Боржомский») и сульфатно-хлоридные кальциево-натриевые («Алма-Атинский») воды. К северо-восточной части РТ приурочены в основном хлоридно-сульфатные магниево-кальциево-натриевые воды («Ижевский № 1»), а к юго-западной части – сульфатные смешанные по катионам воды («Кашин-

ский», «Московский»). Проявления минеральных вод имеют достаточно отчетливую тектоническую приуроченность. Так, в пределах Южно-Татарского свода сконцентрировано более 40% проявлений. Только здесь встречаются минеральные воды типа «Боржомский», «Дилижанский», «Варницкий», «Алма-Атинский», «Миргородский», «Нафтуся», а также все разновидности вод с повышенным содержанием биологически активных микрокомпонентов. Это подтверждает огромный минерагенический потенциал данной структуры, обусловленный геологическими, тектоническими и гидрогеологическими причинами. Интерес представляет и Мелекесская впадина, которая характеризуется очень разнообразным химическим составом минеральных вод, что отражается в большом числе наименований вод. К ведущим факторам формирования химического состава минеральных вод относится состав вмещающих пород (Никаноров А.М., 2001). Обогащение вод ионами осуществляется непосредственно за счет выщелачивания растворимых минералов, основными из которых для территории РТ являются гипс, кальцит, доломит. Гидрокарбонатные кальциевые воды чаще всего образуются при растворении карбонатов кальция (известняки, известковый цемент в песчаниках, известковистые почвы). При отсутствии углекислоты растворимость кальцита в нормальных условиях составляет всего 13 мг/дм<sup>3</sup>, а при больших количествах углекислоты растворимость кальцита может превосходить 1000 мг/дм<sup>3</sup>, образуя углекислые минеральные воды.

В доломитовых породах формируются обычно гидрокарбонатные магниевые-кальциевые или кальциевые-магниевые воды. Формирование вод гидрокарбонатно-сульфатного и сульфатного магниевых-кальциевых составов связано с выщелачиванием загипсованных известняков и доломитов в окислительной обстановке зоны активного водообмена. Растворению сульфатсодержащих минералов (гипс, ангидрит) способствуют относительно высокие скорости движения подземных вод и наличие в них растворенного кислорода, что приводит к образованию сульфатных вод в пермских отложениях. Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные воды смешанного катионного состава образуются в результате процессов выщелачивания гипсоносных пород с последующим замещением кальция на натрий, содержащийся в песчано-глинистых породах. Повышенная концентрация ионов натрия и хлора может быть связана с подтоком высокоминерализованных вод из более глубоко залегающих нижнепермских и каменно-

угольных горизонтов на участках нарушения водоупоров, а также в областях добычи полезных ископаемых (нефть, подземные воды и др.). Преобладающая часть минеральных вод территории РТ по анионному составу относится к сульфатным и хлоридным водам, а по катионному составу – к кальциевым и натриевым (ГОСТ 13273-88.).

Для подземных вод РТ характерна вертикальная гидрохимическая зональность, которая выражается в смене сверху вниз пресных и слабоминерализованных гидрокарбонатных вод сульфатными маломинерализованными водами и далее сульфатно-хлоридными среднеминерализованными водами, а еще ниже – хлоридными водами различной (часто высокой) минерализации (Никаноров А.М., 2001; Станкевич Е.Ф., Каштанов С.Г., 1972; Афанасьев Т.П., 1956).

Минеральные воды с повышенным содержанием биологически активных микрокомпонентов сконцентрированы на определенных площадях территории РТ. Так, кремнистые воды распространены в Западном Предкамье, Восточном и Западном Закамьях. В основном они приурочены к верхне- и нижнеказанскому комплексам, которые сформированы в морской (шельфовой) и переходной обстановках. Возможно, данный факт свидетельствует о преимущественно биогенном происхождении кремнезема в водах казанских отложений. Кремнистые воды составляют более половины всех минеральных вод с биологически активными микрокомпонентами. Борные воды приурочены к левобережью Нижнекамского водохранилища и совпадают с областями развития уфимских терригенных отложений.

Доля борных вод среди всех минеральных вод РТ с биологически активными микрокомпонентами составляет 14%. К границе Мелекесской впадины и Южно-Татарского свода приурочены гидрокарбонатные натриевые (содовые) воды с высоким содержанием органических веществ, где они генетически связаны с залежами битумов (Анисимов Б.В., Ибрагимов Р.Л., Гилязова Ф.С., 1996). Влияние битумов на образование подобных вод фиксируется как собственно в битумосодержащих стратонах (шешминский горизонт уфимского яруса и нижнеказанский подъярус), так и в перекрывающих (верхнеказанские, уржумские и плиоценовые) и подстилающих (соликамские и сакмарские) отложениях. Площадь распространения вод с высоким содержанием органических веществ расположена в Альметьевском, Лениногорском и Черемшанском районах, где обнаружены также железистые, кремнистые и йодные воды. Это позволяет говорить о наличии в данном ре-

гионе крупной гидрохимической аномалии в виде вертикальной минералогической ячейки (Сунгатуллин Р.Х., Сунгатуллина Г.М., 2007), в пределах которой в настоящее время встречаются наиболее разнообразные минеральные питьевые воды. По-видимому, на формирование широкого спектра минеральных вод в пределах выявленной юго-восточной ячейки оказывает влияние также и техногенный фактор (Сунгатуллин Р.Х., 2009). Анализ гидрохимической базы данных показал, что практически все муниципальные районы РТ имеют проявления минеральных вод. Нами получен для территории РТ комплексный показатель перспективности, который представляет собой сумму ранжированных параметров по группам, типам, наименованиям и биологически активным микрокомпонентам вод, а также количество их проявлений в пределах отдельных районов. По численному значению комплексного показателя каждому из муниципальных районов РТ присвоена условная степень перспективности поисков минеральных питьевых вод. Всего выделены 3 категории районов, которые отвечают низкой, средней и высокой степени перспективности. К самым перспективным районам РТ для проведения поисково-разведочных работ на минеральные питьевые воды отнесены Азнакаевский, Альметьевский, Высокогорский, Зеленодольский, Лениногорский, Рыбно-Слободский, Черемшанский и Чистопольский.

Минеральные воды в пределах республики представлены тремя основными группами:

- ♦ минеральные воды без специфических компонентов и свойств;
- ♦ сульфидные (сероводородные) минеральные воды с различной концентрацией сульфидов;
- ♦ бромные хлоридные натриевые и кальциево-натриевые рассолы.

Минеральные воды первой группы без специфических компонентов и свойств, связаны с зоной активного водообмена и получили распространение, в основном, до глубины 300 м.

Сульфатные воды с минерализацией до  $5 \text{ г/дм}^3$  пользуются на территории республики наиболее широким распространением. В их составе выделяются сульфатные кальциевые воды с минерализацией от 1 до  $3 \text{ г/дм}^3$  (краинский тип по ГОСТ 13273-88). Воды этого типа вскрыты скважиной на территории санатория «Васильево» в Зеленодольском районе. К этому же типу относятся воды широко известного источника «Голубое Озеро» в пригороде г. Казани, связанного с комплексом закарстованных карбонатных отложений нижней перми.

Воды сульфатного магниево-кальциевого состава (казанский тип) с минерализацией от 1 до 3 г/дм<sup>3</sup> широко распространены как в отложениях уфимского и казанского ярусов, так и в нижнепермских отложениях. На территории санаториев «Казанский» и «Ливадия» в г. Казани воды этого типа вскрыты в закарстованных известняках стерлитамакского горизонта сакмарского яруса нижней перми. Вода используется для санаторного лечения в количестве 0,5 и 1,2 м<sup>3</sup>/сут соответственно, а на месторождении «Санаторий Ливадия» – для промышленного разлива в количестве 9,2 м<sup>3</sup>/сут.

На востоке республики в г. Мензелинске в песчаниках уфимского терригенного комплекса верхней перми, вскрытых скважиной на территории ООО ТПФ «Изыскатель» в интервале 159-169 м, выявлены маломинерализованные (минерализация от 2,5 до 3,5 г/дм<sup>3</sup>) сульфатные магниево-кальциево-натриевые воды с содержанием ортоборной кислоты 36 мг/дм<sup>3</sup>. Величина апробированных эксплуатационных запасов месторождения составляет 95 м<sup>3</sup>/сут. по категории В. Вода разливается под названием «Мензелинская» в количестве 22 м<sup>3</sup>/сут.

Вблизи п. Поташные Поляны Альметьевского района скважиной № 14 в санатории-профилактории «Ян» НГДУ «Ямашнефть» из водоносной стерлитамакско-соликамской сульфатно-карбонатной серии выведены лечебно-столовые сульфатные натриевые воды отраднинского типа.

Гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатно-гидрокарбонатные с минерализацией до 2 г/дм<sup>3</sup> составляют вторую широко распространенную группу вод, приуроченную к зоне активного водообмена. В большинстве случаев воды этого состава формируются в известняках верхнеказанских отложений (кишиневский тип). В тех случаях, когда минерализация этих вод превышает 2 г/дм<sup>3</sup>, в них в значительном количестве присутствует сероводород, и в связи с этим они относятся к иной бальнеологической группе минеральных вод.

Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные воды натриевого, кальциево-натриевого и сложного катионного состава. Эта гидрохимическая группа минеральных вод, имеющая широкое распространение на территории республики, формируется в различных по возрасту гидростратиграфических подразделениях и отличается широким спектром минерализации от маломинерализованных до средне- и высокоминерализованных.

Наиболее широкой известностью пользуются хлоридно-сульфатные магниево-кальциево-натриевые воды курорта «Ижминводы» (тип ижевский № 1), вскрытые скважинами в закарстованных известняках и доломитах стерлитамакского водоносного горизонта сакмарского яруса нижней перми. На Ижевском месторождении разведаны и утверждены в ГКЗ эксплуатационные запасы этих минеральных вод в количестве 150 м<sup>3</sup>/сут. Из них для лечебных целей в 2004 г. использовано 94,0 м<sup>3</sup>/сут. Кроме того, на месторождении организован промышленный розлив минеральных вод, которые поступают в продажу под названием «Шифалы Су».

Лечебно-столовые минеральные воды ижевского типа вскрыты скважинами в стерлитамакском водоносном горизонте в г. Набережные Челны на территории санатория-профилактория «Жемчужина», а также в г. Нижнекамске на территории Нижнекамской многопрофильной больницы №3. Вода используется для лечебных нужд в количестве 7,4 и 0,1 м<sup>3</sup>/сут. соответственно.

На территории АО «Булгарпиво» в г. Набережные Челны в том же горизонте для промышленного розлива в 1997 г. разведаны лечебно-столовые сульфатно-хлоридные магниево-кальциево-натриевые борные воды хи-ловского типа, которые поступают в продажу под названием «Яр-Чаллы» и пользуются высоким потребительским спросом. Количество бутылированной воды в 2004 г. составило 3,8 м<sup>3</sup>/сут.

Близким аналогом «ижевских» минеральных вод, но с более высокой минерализацией, являются воды, вскрытые скважиной №10 в санатории «Ромашкино», где в 2004 г. начался их промышленный розлив в количестве 0,6 м<sup>3</sup>/сут. Кроме того, в санатории «Ромашкино» из каширско-ассельского водоносного комплекса скважиной №9 выведены хлоридно-сульфатные натриевые воды с минерализацией 10,7 г/дм<sup>3</sup> (тип нижеивкинский № 1). Вода используется для лечебных нужд в количестве 0,12 м<sup>3</sup>/сут.

Маломинерализованные воды поликомпонентного состава с минерализацией до 2,0 г/дм<sup>3</sup> формируются на коренных бортах палеодолин, сложенных карбонатно-терригенными отложениями верхней перми и перекрытых сверху толщей неоген-четвертичных аллювиальных образований. Одно из таких месторождений – «Алиса» с эксплуатационными запасами 499 м<sup>3</sup>/сут. категории В разведано на южной окраине г. Набережные Челны. Вода месторождения используется для про-

мышленного розлива в количестве 76,6 м<sup>3</sup>/сут., а также для хозяйственно-питьевых нужд предприятия в количестве 28,7 м<sup>3</sup>/сут.

Помимо перечисленных типов минеральных вод без специфических компонентов на территории республики при нефтепоисковом и структурном бурении вскрыты и другие типы минеральных вод, в том числе гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые и сложного катионного состава. Однако в этих водах повсеместно отмечается повышенное содержание фенолов, что исключает их использование в качестве лечебных питьевых вод.

Минеральные воды второй группы – сульфидные (сероводородные) распространены, в основном, на территории Восточного Закамья, что связано с наличием здесь локальных и часто крупномасштабных скоплений битумов, а также нефтяных месторождений и их проявлений. Однако в 1997 г. в результате поисковых работ сероводородные минеральные воды были встречены и в Западном Закамье в г. Булгар. Приурочены они к битуминизированным доломитам нижеказанского подъяруса, залегающим в интервале 122-180 м. По химическому составу вода является хлоридно-сульфатной натриево-кальциевой с минерализацией 3,5 г/дм<sup>3</sup>. Из специфических бальнеологических компонентов в ней содержится сероводород в количестве 134 мг/дм<sup>3</sup> и органические вещества, концентрация которых в пересчете на С<sub>орг</sub> составляет 8,57 мг/дм<sup>3</sup>.

Гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатно-гидрокарбонатные воды различного катионного состава с минерализацией до 5 г/дм<sup>3</sup> получили распространение на юго-востоке республики в долине р. Шешмы, где они формируются в уфимских песчаниках и связаны с залежами и проявлениями битумов. К этому типу минеральных вод относятся источники в районе н.п. Сарабикулово Лениногорского района.

В Предволжье минеральные воды аналогичного состава разгружаются в источнике вблизи с. Сюкеево в Камско-Устьинском районе, приуроченного к известнякам и доломитам казанского яруса. Здесь же в Тетюшском районе, в 2-х км восточнее с. Пролей Каша в нижней части берегового склона Куйбышевского водохранилища из подошвы водоносной слободско-юрпаловской карбонатно-терригенной свиты разгружаются слабоминерализованные гидрокарбонатные натриево-магниевые воды типа «Нафтуся». Бальнеологические свойства подземных вод обусловлены содержащимися в них органическими веществами, концентрации которых в пересчете на органический углерод

достигают  $16,5 \text{ мг/дм}^3$ . Минеральная вода, обладающая прекрасным вкусовым качеством, бутылкируется под названием «Тетюшская» в количестве  $86,3 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Сульфатно-хлоридные натриевые и сложного катионного состава воды с минерализацией до  $35 \text{ г/дм}^3$  обычно формируются в глубоких горизонтах нижней перми, среднего и верхнего карбона.

Воды этого типа получили наиболее широкое распространение в зоне крупной гидрохимической аномалии в верховьях р.р. Шешмы и Степного Зая. Наиболее представительным примером являются сульфидные, сульфатно-хлоридные натриевые воды с минерализацией  $24,6\text{-}30,1 \text{ г/дм}^3$  с содержанием  $\text{H}_2\text{S}$  от 225 до  $385 \text{ мг/дм}^3$ , разведанные для санатория «Бакирово» в серпуховских известняках в интервале глубин 670-750 м. Помимо сероводорода эти воды обогащены бромом ( $\text{Br} - 20\text{-}33 \text{ мг/дм}^3$ ) и бором ( $\text{H}_3\text{BO}_3 - 70\text{-}102 \text{ мг/дм}^3$ ) и обладают очень высокими бальнеологическими свойствами. Количество отбираемой воды для наружного применения составляет  $105 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

#### *Бромные хлоридные натриевые и кальциево-натриевые рассолы*

Начиная с верейского водоносного комплекса, ниже глубин 500-700 м по всей территории республики получили распространение хлоридные натриевые и натриево-кальциевые бромные рассолы. Между тем, в силу геолого-структурных особенностей осадочного чехла бромные рассолы локально проявляются и в верхних гидростратиграфических подразделениях вплоть до казанского водоносного комплекса. В г. Казани бромные рассолы с минерализацией  $157 \text{ г/дм}^3$  и содержанием брома  $200 \text{ мг/дм}^3$  получены в интервале глубин 89-309 м.

В отложениях гжельско-каширского водоносного комплекса бромные рассолы имеют более широкое распространение в интервале глубин от 170-400 до 645-800 м. Типичным месторождением для данного типа вод является месторождение «Санаторий Васильево» в Зеленодольском районе, на северо-западе республики, где в известняках каширского возраста, в интервале 360-400 м заключены рассолы с минерализацией  $171\text{-}199 \text{ г/дм}^3$  и содержанием брома до  $309 \text{ мг/дм}^3$ . Оцененная величина эксплуатационных запасов месторождения равна  $18 \text{ м}^3/\text{сут}$ , а количество используемой минеральной воды для наружного применения составляет всего  $1,6 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

В отложениях верейско-башкирского и окско-серпуховского водоносных комплексов бромные рассолы можно вскрыть в любой точке республики. Так, на северо-востоке республики в Менделеевском районе на курорте «Ижминводы» из окско-серпуховского водоносного комплекса выведен хлоридный натриевый бромный рассол с минерализацией 218 г/дм<sup>3</sup> и содержанием брома 412 мг/дм<sup>3</sup>. В нем помимо брома в концентрации 265 мг/дм<sup>3</sup> содержится ортоборная кислота (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>). Эксплуатационные запасы месторождения оценены по категории «А» в количестве 44 м<sup>3</sup>/сут. Для лечебных целей используется 3,2 м<sup>3</sup>/сут. На западном склоне Южно-Татарского свода в пределах Онбийского нефтяного месторождения, расположенного в Заинском районе, водоносный заволжский горизонт турнейского яруса нижнего карбона содержит хлоридные кальциевые рассолы с минерализацией 247-267 г/дм<sup>3</sup>.

На юго-востоке республики вблизи г. Бавлы на территории санатория-профилактория «Иволга» НГДУ «Бавлынефть» из данково-лебедянского водоносного горизонта верхнего девона (интервал 1387,6-1468,6 м) скв. №1018 выведены крепкие бромные сероводородные хлоридные натриевые рассолы с минерализацией 259 г/дм<sup>3</sup>, содержащие бром в концентрации 416 мг/дм<sup>3</sup> и сероводород в количестве, 110 мг/дм<sup>3</sup>. Эксплуатационные запасы рассолов были утверждены в количестве 15 м<sup>3</sup>/сут. по категории В.

Общая величина извлекаемых минеральных вод в пределах республики в 2004 г. составила 1,206 тыс. м<sup>3</sup>/сут. На месторождениях минеральных подземных вод извлечено 0,9884 тыс. м<sup>3</sup>/сут. или 82% от общей величины водоотбора минеральных вод. Доля использования извлеченных минеральных вод составляет 99,8% (1,2041 тыс. м<sup>3</sup>/сут.). Из них 0,8119 тыс. м<sup>3</sup>/сут. использовано для лечебных нужд, 0,2848 тыс. м<sup>3</sup>/сут. для промышленного розлива и 0,1074 м<sup>3</sup>/сут для хозяйственно-питьевых нужд. Наибольшим спросом в республике для лечебных целей пользуется минеральная вода типа «Ижевский № 1» (62,6%), для розлива – гидрокарбонатно-сульфатная (сульфатно-гидрокарбонатная) (свыше 30%).

### *Теплоэнергетические и промышленные воды*

К теплоэнергетическим относятся подземные воды, которые по своим технологическим свойствам (температуре, химическому составу

ву) в естественных условиях могут быть использованы как природный энергоноситель для отопления, горячего водоснабжения, выработки электроэнергии. Выделяются собственно термальные подземные воды, в которых основным теплоносителем является вода, и парогидротермы, в которых основным теплоносителем является пар.

В толще осадочного чехла в пределах территории РТ теплоэнергетические низкопотенциальные подземные воды с температурой от 20 до 75°C развиты в зонах замедленного и затрудненного водообмена. Глубина их залегания зависит от структурно-тектонических особенностей кристаллического фундамента, отдельные локальные зоны которого служат проводниками теплового потока из недр Земли. Кроме того, на температурный режим подземных вод оказывает влияние раскрытость гидрогеологических структур, представляющих собой участки глубокого внедрения верхних холодных вод в осадочную толщу.

Из опубликованных литературных источников следует, что геоизотерма подземных вод с температурой 20°C на западе республики в пределах Токмовского свода проходит на глубине около 1000 м, на востоке в пределах Татарского свода – на глубине около 1500 м. На контакте осадочной толщи и кристаллического фундамента в пределах Северо-Татарского свода на глубине 1700-1900 м проходит геоизотерма 30°C, а в пределах Южно-Татарского свода – от 35 до 37°C. На юге республики с погружением фундамента в районе Абуллинской впадины температура подземных вод возрастает до 65-70°C и более.

В переуглубленных же участках Южно-Татарского свода, а также по направлению развития Кузайкинского и Алтунинско-Шунакского разломов распространены среднепотенциальные подземные воды с температурой от 90 до 100°C.

Парогидротермы приурочены к вендским образованиям верхнего протерозоя, выполняющим Верхнекамскую впадину и Бирскую седловину на крайнем северо-востоке республики и юго-восточный склон Восточно-Европейской платформы на юго-востоке. Кроме того, они получили повсеместное развитие в кристаллическом фундаменте на глубине порядка 4 км.

Потенциальные ресурсы и эксплуатационные запасы теплоэнергетических подземных вод на территории РТ не оценивались. Сведений об их использовании не имеется.

К промышленным относятся подземные воды, которые по своему качеству пригодны для извлечения в промышленных масштабах со-

держатся в них полезных элементов или их соединений. В соответствии с существующими технологическими требованиями при раздельном извлечении отдельных элементов содержание их должно быть не менее: йода  $18 \text{ мг/дм}^3$ , брома и бора  $250 \text{ мг/дм}^3$ , радия  $10\text{-}5 \text{ мг/дм}^3$ . При совместном извлечении йодо-бромных промышленных вод йода и брома должно быть, соответственно, не менее  $10$  и  $200 \text{ мг/дм}^3$ , йодо-борных – йода также  $10 \text{ мг/дм}^3$ , бора  $75 \text{ мг/дм}^3$ , а боро-бромных – йода  $10 \text{ мг/дм}^3$ , брома  $150 \text{ мг/дм}^3$ , бора в виде ортоборной кислоты от  $200$  до  $500 \text{ мг/дм}^3$  (Бондаренко С.С., 1986).

Исходя из этих критериев и имеющегося фактического материала, на современном этапе изученности к промышленным водам на территории РТ относятся хлоридные натриевые и кальциево-натриевые рассолы зон замедленного и затрудненного водообмена.

Первые из них – хлоридные натриевые рассолы связаны с площадями распространения гипсово-ангидритовой толщи нижнепермских отложений, являющейся не только водоупором для нижележащих водоносных горизонтов, снижающим интенсивность водообмена с пресными водами, но и фактором формирования химического состава за счет растворения в них рассеянного галита. За пределами развития гипсово-ангидритового водоупора в каменноугольных отложениях, залегающих под пермскими осадками, рассолы распространены лишь в закрытых гидрогеологических структурах, соответствующих в геолого-структурном плане прогибам или впадинам. В отложениях девона промышленные рассолы в пределах республики распространены повсеместно, причем минерализация их превышает  $280 \text{ г/дм}^3$ .

На западном борту Казанско-Кировского прогиба хлоридные натриевые рассолы промышленного типа с минерализацией  $36,7 \text{ г/дм}^3$  содержатся в сакмарском водоносном горизонте нижней перми, вскрытом скважиной Дома отдыха «Набережные Моркваши» в интервале глубин от  $100$  до  $155 \text{ м}$ . По мере увеличения глубины залегания водовмещающих пород минерализация рассолов резко возрастает. Здесь же в ассельском горизонте в интервале глубин от  $182$  до  $242 \text{ м}$  встречены рассолы с минерализацией  $165 \text{ г/дм}^3$ . В центральной части данного прогиба на территории г. Казани хлоридные натриевые рассолы водоносного каширско-ассельского горизонта практически в этом же интервале ( $205\text{-}240$ ) имеют минерализацию  $183 \text{ г/дм}^3$ , величина которой остается постоянной до глубины  $500 \text{ м}$  (санатории «Васильево»

и «Ливадия», имеющие скважины на каширско-гжельский водоносный горизонт C<sub>2</sub>ks-C<sub>3</sub>g).

В Мелекесской впадине хлоридные натриевые рассолы с минерализацией 134 г/дм<sup>3</sup> содержатся в нижнеказанских и сакмарских доломитах, песчаниках, вскрытых скважиной санатория-профилактория «Нурлатнефтегазразведка» в интервале глубин 320-410 м.

Наибольшие мощности зоны распространения хлоридных натриевых рассолов (до 1400 м) характерны для восточной части республики в пределах бортов Верхнекамской впадины, Бирской седловины и юго-восточного склона Восточно-Европейской платформы. Здесь рассолы с минерализацией 80-100 г/дм<sup>3</sup> вскрыты скважинами в уфимских песчаниках на глубине 100 м. В отложениях кунгурского и артинского ярусов нижней перми минерализация повышается до 150-200 г/дм<sup>3</sup>, в отложениях карбона – до 250-270 г/дм<sup>3</sup> и девона – до 280-300 г/дм<sup>3</sup>.

В пределах положительных структур (Токмовский и Татарский своды) в верхнем и среднем карбоне встречены минеральные воды с минерализацией до 30 г/дм<sup>3</sup>. Здесь промышленные хлоридные натриевые рассолы вскрыты в окско-серпуховском водоносном комплексе (C<sub>1</sub>ok-sr) на глубине 700-800 м в нижней части разреза карбона. Мощность толщи осадочного чехла, включающего хлоридные натриевые рассолы в пределах сводов, вследствие поднятия кристаллического фундамента уменьшается до 1000 м (устье р. Иж, р.п. Шугурово Балтасинского района, с. Булдырь Чистопольского района).

Характер развития рассолов хлоридного кальциево-натриевого типа несколько иной. Они полностью отсутствуют в пределах Северо-Татарского свода и Сарайлинского прогиба, появляясь лишь в центральных частях южного выступа, где мощность зоны хлоридных кальциево-натриевых рассолов не превышает 80 м. В краевых частях Южно-Татарского свода и граничащих с ними впадинах и прогибах мощность их изменяется от 250 м на западе (Мелекесская впадина) и юге (Абдуллинский прогиб) до 500 м на юго-восточном склоне Восточно-Европейской платформы и на востоке (Бирская седловина).

Водовмещающими породами хлоридных кальциево-натриевых рассолов являются терригенные отложения вендского комплекса и девона. В пределах западного склона Южно-Татарского свода кровля зоны рассолов ограничивается пашийскими слоями и поднимается в заволжский горизонт турнейского яруса нижнего карбона. Далее на запад на восточном борту Мелекесской впадины хлоридные кальциевые

рассолы встречаются в кыновских отложениях девона. Минерализация хлоридных кальциево-натриевых рассолов изменяется в пределах от 250 до 310 г/дм<sup>3</sup>.

### *Промышленные бромные воды*

По результатам геолого-разведочных работ на минеральные воды, выполненных в пределах республики, хлоридные натриевые рассолы повсеместно характеризуются промышленным содержанием брома. Его концентрации в рассолах с минерализацией 165 г/дм<sup>3</sup>, содержащихся в ассельском водоносном горизонте на западном борту Казанско-Кировского прогиба, изменяются от 200 до 233 мг/дм<sup>3</sup>, а в центральной его части в рассолах с минерализацией от 180 до 185 г/дм<sup>3</sup> – от 300 до 320 мг/дм<sup>3</sup>. Глубина залегания кровли водовмещающих пород, представленных доломитами с прослоями известняков ассельского яруса нижней перми, изменяется от 182 м на западе прогиба до 205 м в центральной его части.

На восточном борту Мелекесской впадины (санаторий-профилакторий «Нурлатнефтеразведка») содержание брома при минерализации хлоридных натриевых рассолов 134 г/дм<sup>3</sup> составляет 211-243 мг/дм<sup>3</sup>. В центральной части впадины при бурении нефтяных скважин в бобриковском горизонте ви-зейского яруса в интервале 213-1283 м и нижележащих известняках турнейского яруса нижнего карбона в рассолах этого же состава с минерализацией 252-256 г/дм<sup>3</sup> концентрации брома увеличиваются до 378 мг/дм<sup>3</sup>. Ниже в зоне распространения хлоридных кальциево-натриевых рассолов с минерализацией 276 г/дм<sup>3</sup> в песчаниках живетского яруса среднего девона содержание брома составляет 949 мг/дм<sup>3</sup>.

В пределах Татарского свода на месторождениях курорта «Ижминводы», городов Набережные Челны и Нижнекамск в хлоридных натриевых рассолах окско-серпуховского водоносного горизонта с минерализацией от 218 до 254 г/дм<sup>3</sup> концентрация брома изменяется от 319 до 412 мг/дм<sup>3</sup>. Кровля водовмещающих пород на указанных месторождениях расположена на глубине от 770 до 820 м.

В Бавлинском районе на юго-восточном склоне Восточно-Европейской платформы на месторождении минеральных вод санатория-профилактория «Иволга» в данково-лебедянском водоносном горизонте (верхний девон) содержание брома в рассолах с мине-

рализацией 259 г/дм<sup>3</sup> составляет 416 мг/дм<sup>3</sup>. По литературным данным хлоридные натриевые рассолы девонских отложений, характеризующиеся минерализацией свыше 280 г/дм<sup>3</sup>, содержат бром в концентрациях от 539 до 1080 мг/дм<sup>3</sup>.

На востоке республики в пределах структур Предуральского прогиба, где развиты хлоридные кальциево-натриевые рассолы, содержание брома увеличивается до 1450 мг/дм<sup>3</sup>.

### *Промышленные борные воды*

В отличие от брома бор не имеет в пределах РТ такого широкого площадного распространения, но его повышенные содержания встречены в тех же водоносных горизонтах, в водах которых присутствует и бром. Следует отметить, что на разведанных месторождениях хлоридных натриевых рассолов его содержание значительно ниже требуемых промышленных кондиций для однокомпонентного извлечения. При совместном же извлечении его с бромом лимитирующий показатель установлен для соединения ортоборной кислоты, содержание которой не должно быть менее 200 мг/дм<sup>3</sup>. Хлоридные натриевые рассолы с концентрацией ортоборной кислоты от 205 до 1098 мг/дм<sup>3</sup> встречены во всех скважинах на минеральные воды, пройденные в пределах г. Казани и на курорте «Ижминводы». В Казанско-Кировском прогибе перспективными на промышленные борные воды являются минеральные воды зоны затрудненного водообмена в интервале глубин от 200 до 500 м, включающем сульфатно-карбонатную толщу водоносной каширско-ассельской серии. На северо-востоке республики борные воды приурочены к окско-серпуховскому водоносному комплексу, развитому в интервале от 800 до 1000 м. Концентрация ортоборной кислоты в нем достигает 265 мг/дм<sup>3</sup>.

### *Промышленные йодные воды*

Распространение йода в промышленных категориях в пределах республики в основном приурочено к закрытым гидрогеологическим структурам. По материалам разведочных работ на хлоридные натриевые рассолы для промышленного извлечения йода совместно с бромом перспективным является ассельский водоносный горизонт нижней перми на западном склоне Казанско-Кировского прогиба (Дом отдыха

«Набережные Моркваши»), где в рассолах с минерализацией 165 г/дм<sup>3</sup> содержание йода достигает 11 мг/дм<sup>3</sup>.

Практически в этих же концентрациях (от 10,7 до 13,0 мг/дм<sup>3</sup>) йод встречен в окско-серпуховском водоносном комплексе нижнего карбона, развитом в пределах Сарайлинского прогиба на левобережье р. Камы в Чистопольском районе и г. Набережные Челны (санаторий «Жемчужина»). В Мелекесской впадине в этих же отложениях с интервала 1213-1283 м получены рассолы с содержанием йода до 19,5 мг/дм<sup>3</sup>. Ниже в известняках турнейского яруса концентрации йода увеличиваются до 26,5 мг/дм<sup>3</sup>. Аномально высокое содержание этого компонента – 829 мг/дм<sup>3</sup> – отмечается в хлоридных кальциево-натриевых рассолах, вскрытых здесь же в породах среднего девона. По литературным данным на востоке и юго-востоке в рассолах кальциево-натриевого типа, приуроченных к девонским отложениям переуглубленных структур, содержание йода не превышает 15 мг/дм<sup>3</sup>.

Потенциальные ресурсы и эксплуатационные запасы промышленных подземных вод на территории РТ не оценивались. Сведений об их использовании не имеется.

Из всего вышесказанного следует, что:

- ♦ На территории Республики Татарстан теплоэнергетические подземные воды в виде термальных вод и парогидротерм, а также промышленные подземные воды имеют повсеместное развитие.
- ♦ Оценка их ресурсов и эксплуатационных запасов в республике не проводилась.
- ♦ Использование теплоэнергетических и промышленных подземных вод, попутно добываемых с нефтью на обширной территории республики, как природного энергоносителя для отопления, горячего водоснабжения, выработки электроэнергии, а также для извлечения полезных элементов или их соединений является актуальной задачей с целью повышения комплексного использования природных ресурсов республики.

### ***Основная литература***

1. Анисимов Б.В., Ибрагимов Р.Л., Гилязова Ф.С. Подземные воды пермских битумных месторождений Республики Татарстан // Пермские отложения Республики Татарстан. – Казань: Экоцентр, 1996. – С. 236–241.

2. *Афанасьев Т.П.* Подземные воды Среднего Поволжья и Прикамья и их гидрохимическая зональность. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 262 с.
3. *Блюмштейн З.Н., Пушкин Н.Ф., Каишанов С.Г.* Курорты Татарии (курорты, санатории, дома отдыха). – Казань: Татгосиздат, 1958.
4. *Вернадский В.И.* История природных вод. – М.: Наука, 2003. – 750 с.
5. ГОСТ 13273-88. Воды минеральные питьевые лечебные и лечебно-столовые. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 29 с.
6. *Доронкин К.Н., Анисимов Б.В., Каримов М.Ж. и др.* Перспективы поиска и разведки лечебных минеральных вод // Пермские отложения Республики Татарстан. – Казань: Экоцентр, 1996. – С. 231-236.
7. Методы изучения и оценки ресурсов глубоких подземных вод / под редакцией С.С. Бондаренко. – М.: Недра, 1986.
8. *Никаноров А.М.* Гидрохимия. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001. – 444 с.
9. Подземные воды Татарии / под ред. М.Е. Королева. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1987. – 189 с.
10. *Станкевич Е.Ф., Каишанов С.Г.* Гидрохимическая характеристика пресных и слабосоленоватых подземных вод Татарской АССР // Гидрогеология и геотектоника Среднего Поволжья и Енисейского края. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1972. – С. 3–24.
11. *Сунгатуллин Р.Х.* Комплексный анализ геологической среды (на примере Нижнекамской площади). – Казань: Мастер-Лайн, 2001. – 140 с.
12. *Сунгатуллин Р.Х.* Интегральная геология. – Казань: Образцовая тип., 2006. – 142 с.
13. *Сунгатуллин Р.Х., Хазиев М.И.* Системный подход при изучении гидросферы на промышленно-урбанизированных территориях // Геоэкология. – 2009. – № 1. – С. 19–31.
14. *Сунгатуллин Р.Х., Сунгатуллина Г.М.* Минерагенические системы и интегральные модели // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 11. – С. 25–29.
15. *Сунгатуллин Р.Х.* Техногенез и минеральные воды // Разведка и охрана недр. – 2009. – № 2. – С. 53–58.
16. *Хисамов Р.С., Гатиятуллин Н.С., Либерман В.Б. и др.* Минерально-сырьевая база Республики Татарстан. – Казань: ФЭН, 2006. – 320 с.

## *Глава 2. Санатории и курорты Пермского края*

На территории Прикамья широко распространены разнообразные лечебные минеральные воды, состав и условия залегания которых зависят от палеогеографических и литологических особенностей водовмещающих осадочных пород, а также от гидродинамических и гидрогеохимических условий их формирования.

В гидродинамическом отношении минеральные воды Пермского края приурочены к зонам активного, замедленного и затрудненного водообмена (или застойного режима), что в значительной мере определяет степень их защищенности от загрязнения жидкими и твердыми отходами.

Наш край располагает значительными потенциальными ресурсами разнообразных минеральных лечебных вод. Основная их часть заключена в осадочной толще Волго-Уральского артезианского бассейна на платформенной части Пермского Прикамья, где проживает основная часть населения края. На этой же территории находятся основные здравницы, функционирующие на базе минеральных вод. Возможности использования минеральных вод определяются главным образом при экологической оценке территорий, благоприятных для строительства курортов, бальнеолечебниц и заводов розлива. Это позволит избавить людей от длительных и утомительных поездок в отдаленные лечебные заведения других регионов России и зарубежных стран, требующих больших материальных затрат. Кроме того, больным не нужно переживать период акклиматизации, который уменьшает время намеченного лечения.

К настоящему времени в пределах Пермского края установлено свыше 20 месторождений и перспективных участков лечебных минеральных вод.

Месторождения и перспективные участки лечебных минеральных вод расположены на большей части территории Пермского края и приурочены к различным структурно-тектоническим элементам. Они охватывают почти весь разрез осадочного чехла платформенной части края и имеют этажное расположение, когда распределение отдельных типов их в подземной гидросфере носит упорядоченный характер и подчинено вертикальной гидрогеохимической зональности. Вследствие этого в одном пункте можно получить несколько (3-4) типов вод для внутреннего и наружного применения. Это обеспечивает условия

для создания многопрофильных здравниц на базе минеральных вод различных типов (курорт «Усть-Качка» – воды питьевые лечебно-столовые, сульфидные и йодобромные). Каждое месторождение имеет свои особенности гидрогеологического строения, которые существенно влияют на условия защищенности минеральных вод от воздействия техногенных факторов, способных вызвать их загрязнение. В первую очередь загрязнению подвержены неглубоко залегающие подземные воды зоны активного водообмена, куда попадают промстоки поверхностного сброса, чаще всего бытового и сельскохозяйственного происхождения, а на минеральные воды глубоких водоносных горизонтов (зоны замедленного и затрудненного водообмена) загрязняющее действие может оказывать закачка промышленных стоков через поглощающие скважины или горные выработки.

*Усть-Качка.* Самый крупный курорт края – многопрофильная здравница России, ежегодно здесь отдыхают более 30 тыс. человек.

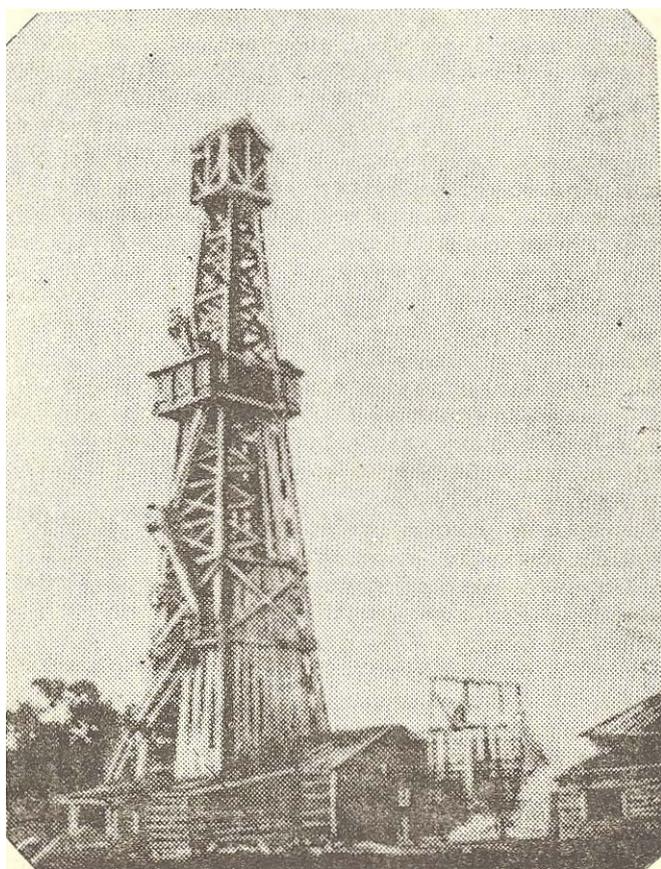


Рис. 7. Поисково-разведочная скважина Р-1 курорта «Усть-Качка»

Немного истории. На строительстве Каменного бумкомбината бурили скважину для водоснабжения – натолкнулись на нефтеносные породы – была обнаружена краснокамская нефть.

Стали бурить на нефть. Отбирали пробы воды на химический анализ. Нефтяников вода интересовала с точки зрения нефтеносности, поэтому они не проводили полный анализ, а ограничились лишь 5 необходимыми определениями. После этого 175-метровая скважина Р-1 (1934 г.) была зацементирована как ненужная, так как нефть не нашли (рис. 7).

Однако лаборатория аналитической химии ПГУ проявила инициативу и занялась подробными исследованиями оставшихся проб, был сделан полный химический анализ воды. Обнаружены исключительно ценные свойства Красно-

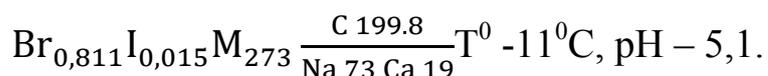
камской воды:  $\text{H}_2\text{S}$  (свободного и полусвязанного) от 900 до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Заведующий кафедрой аналитической химией доцент Ю.Г. Кобляк предположил, что лечебные свойства воды благодаря ее солевому составу дадут будущему курорту мировую известность.

Об открытии было доложено Пермскому горсовету, Свердловскому отделению института курортологии. Позднее была направлена в Москву и передана в Кремль Сталину лично докладная записка. Наличие общего сероводорода в краснокамских водах является исключительно большим, достигающим 1000 мг на литр воды.

Соотношение между свободным и полусвязанным сероводородом в одной из проб краснокамской воды выражается следующим образом: из 983,4 мг общего сероводорода на долю свободного приходится 533 мг, а на долю полусвязанного в виде гидросульфидного иона 450,4 мг. При таком содержании сероводорода и высокой степени минерализации (до 250 г минерального остатка на 1 л воды) краснокамская вода не может применяться непосредственно для ванн, а должна обязательно разбавляться пресной водой. Наличие полусвязанного сероводорода следует считать положительным фактором в оценке краснокамской воды: он является как бы консервирующим моментом и некоторым источником пополнения выделяющегося свободного сероводорода. Последнее обстоятельство позволяет сероводороду в краснокамской воде находиться в более устойчивом состоянии, что мы действительно и наблюдаем.

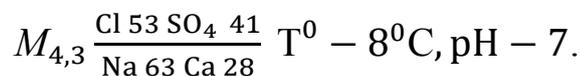
Особо следует отметить в краснокамской воде присутствие значительных количеств соединений йода и брома.

Однако сероводородному источнику «Усть-Качка» не суждено было долго оставаться единственным, в 1951 г. на территории курорта было начато бурение новой скважины. С глубины 1360 м получена вторая *минеральная вода – бромидная*. Бромидная вода «Усть-Качки» имеет высокую минерализацию 273 г/дм<sup>3</sup>, содержит в 1 л – 811 мг брома и 15 мг йода. Формула химического состава бромидного рассола:



Щедрость уральских недр воистину безгранична, и, будто бы подтверждая выводы ученых о наличии минеральных вод различного хи-

мического состава в зависимости от глубины залегания, в 1972 г. в «Усть-Качке» получен новый тип минеральной воды. По заключению Центрального НИИ курортологии и физиотерапии это маломинерализованная (4,3 г/дм<sup>3</sup>) сульфатно-хлоридно-натриево-кальциевая вода, следующего состава:



*Ключи.* Курорт «Ключи» является крупной современной здравницей Урала с собственной гидроминеральной базой, которая представлена двумя типами минеральных вод и лечебными грязями Суксунского пруда. В гидрогеологическом отношении Суксунский район, где располагается курорт, находится в пределах Волго-Камского артезианского бассейна, для которого характерным является нормальный гидрогеохимический разрез, где с глубиной залегания водовмещающих пород увеличивается минерализация вод (от 2-3 до 270-300 г/дм<sup>3</sup>). Сверху вниз пресные и слабоминерализованные лечебные и лечебно-столовые воды сменяются сульфидными и йодобромными минеральными водами и рассолами.

Крепкие сероводородные воды в районе курорта вскрыты скважинами с глубины более 100 м в нижнепермских и верхнекаменноугольных отложениях. Минерализация воды колеблется от 3,2 до 3,7 г/дм<sup>3</sup>. Анионный состав представлен сульфатами (45-64%-экв.), хлоридами (31-33%-экв.). Бальнеологическим фактором вод является сероводород, содержание которого в воде составляет 120-146 мг/дм<sup>3</sup>. Водорастворённый газ преимущественно азотный (85,5% – N<sub>2</sub>), углекислого газа и сероводорода – 10,8%, метана – 2,2%. Запасы этих вод утверждены в ГКЗ в количестве 777 м<sup>3</sup>/сут. Воды используются для наружного применения в виде ванн без разбавления после подогрева.

Лечебно-столовая вода сульфатного кальциево-магниевого состава получена в районе санатория из кунгурских и артинских отложений с глубины 60,0-117,5 м. Она является маломинерализованной (минерализация – 2,4-3,6 г/дм<sup>3</sup>), сульфатной (SO<sub>4</sub> – до 75%-экв.) магниевой-кальциевой (Ca – 60%-экв.; Mg – 20%-экв.). Воды слабощелочные (pH – 7,2-8,2), холодные (t – 8-10°C). Запасы этих вод утверждены в ГКЗ в количестве 259 м<sup>3</sup>/сут. Воды используются в качестве лечебно-питьевых.

Участок курорта «Ключи» помимо минеральных характеризуется наличием пресных источников с повышенным содержанием растворённого органического вещества (до 2 мг/дм<sup>3</sup>) типа «Нафтуся». Здесь же может быть вскрыт целый комплекс чистых йодобромных рассолов с минерализацией от 23 до 270 мг/дм<sup>3</sup>. В районе также наблюдается мощная разгрузка пресных вод со стороны Уфимского плато. Эти воды хорошего питьевого качества. Дебиты данных источников превышают 300-350 л/с.

Наиболее весомый вклад в развитие курорта внес врач Суксунских заводов А.П. Щербаков, который первый попытался поставить курортное дело на научную основу. Начиная с 1862 г. он трудился над открытием водолечебницы в Ключах (рис. 8). Благодаря его стараниям в 1866 г. был построен закрытый курортный зал. Тогда же Щербаков обнаружил большие запасы лечебной грязи (ила) в Суксунском пруду. Суксунский пруд расположен на юго-востоке Пермского края, на окраине поселка городского типа Суксун, в 150 км от г. Перми и в 47 км от г. Кунгура.

Разработка лечебных грязей в течение многих лет осуществлялась ручным способом в юго-западной части пруда. Грязь добывалась с лодки черпаками на случайно выбранных участках. Добытая лечебная грязь доставлялась на лодке к берегу, перегружалась вручную на автотранспорт и доставлялась на курорты и профилактории. В настоящее время добычу грязи осуществляет ЗАО «Санаторий Ключи», имеющий лицензию на разработку месторождения.

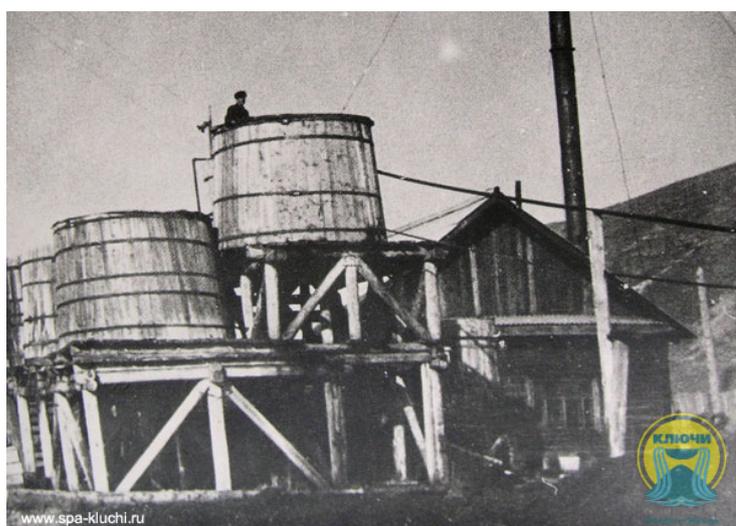


Рис. 8. Открытие водолечебницы в Ключах

Основным потребителем суксунских лечебных грязей, помимо курортов «Ключи», являются 29 лечебно-профилактических учреждений г. Перми и Пермского края. Эти учреждения имеют небольшие грязевые отделения на 2-4 кушетки, в которых отпускаются в основном местные грязевые процедуры, поэтому расход лечебных грязей невелик.

В соответствии с результатами разведки запасы лечебных илов составляют около 2,0 млн м<sup>3</sup>, в том числе лечебных грязей более 1996,71 тыс. м<sup>3</sup>. Потребность курорта «Ключи» в настоящее время составляет 200 м<sup>3</sup>/год.

В качестве участка первоочередной разработки выделена юго-восточная часть Суксунского пруда площадью 84 тыс. м (8,4 га) с запасами грязи около 143,41 тыс. м<sup>3</sup>. Эксплуатационный участок имеет размеры 300 × 280 м, расположен в 50-60 м от берега. Средняя мощность грязевой залежи на участке добычи, подлежащей разработке, равна 1,71 м. Мощность пункта грязедобычи составляет около 1548 тонн грязи в год.

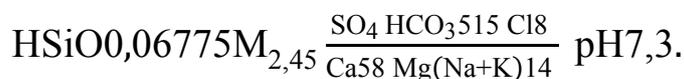
По данным физико-химических анализов черные илы относятся к иловым сероводородным слабоминерализованным лечебным грязям. Черные илы представляют собой мягкую, однородную по цвету массу с включением небольшого количества растительных остатков и мелкозернистого песка, несколько разжиженную в поверхностном пятисантиметровом слое. Средняя мощность черного ила – 0,65 м.

Ионный состав грязевого раствора – гидрокарбонатный кальциевый. Твердая фаза черных илов представлена глинистой фракцией силикатного состава до 38% и карбонатом кальция и магния до 9%, что отвечает литологии коренных пород данного региона. Количественное определение сероводорода в черных илах показывает, что его содержание колеблется в широких пределах, а наибольшее его количество (240 мг на 100 г сырой грязи) содержится в местах разгрузки сульфатно-кальциевых вод. Показатель кислотности (рН) грязевого раствора – 7,0-8,0.

В 1 км северо-восточнее санатория «Ключи» расположена скважина питьевой минеральной воды. Её глубина – 117,5 м. Вода – аналог «Смирновской» (г. Железноводск в районе Кавказских минеральных вод). В основном ионном составе преобладают сульфат-ионы и катио-

ны кальция и магния. Содержание ионов кальция и магния – 9,4 мг/дм<sup>3</sup>.

Величина минерализации воды составляет 2,45 г/дм<sup>3</sup>. Основной химический состав воды описывается следующей формулой:



Биологически активные компоненты в минеральной воде содержатся в небольших количествах и составляют (мг/дм<sup>3</sup>):

Бром – 0,43

Йод – 0,34

Железо – 0,8

Ортоборная кислота – 22,88

Метакремниевая кислота – 19,02

Органические вещества – 4,73

Лечебно-столовые воды сульфатно-кальциевого состава приурочены к закарстованным гипсово-ангидридовым толщам кунгурского яруса, распространены в межрифтовой зоне, и охрана ресурсов лечебно-столовых вод здесь в первую очередь связывается с соблюдением санитарного режима во второй санитарной зоне курорта.

*Санаторий «Демидково».* Расположен в 40 км от Перми, на месторождении природных йодо-бромных и сульфатно-натриевых вод.

### ***Основная литература***

1. *Гусева Н.Н., Шестов И.Н.* Гидроминеральная база курорта Ключи// Вопросы использования курортных факторов Урала и Предуралья в оздоровлении трудящихся: Тр. Пермского медицинского института. Вып. IV. – Пермь, 1974. – С.12-13.
2. Геологические памятники Пермского края / под общ. ред. И.И. Чайковского; Горный институт УрО РАН. – Пермь, 2009. – 616 с.
3. Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края / гл. ред. А.И. Кудряшов. – Пермь, 2006. – 463 с.
4. *Максимович Г.А., Шестов И.Н.* К вопросу об изучении химического состава минеральных вод и грязей Пермской области// Вопросы использования курортных факторов Урала и Предуралья в оздоров-

лении трудящихся: Тр. Пермского медицинского института. Вып. IV. – Пермь, 1974. – С.13-16.

5. *Шестов И.Н., Белов Ю.Е., Белов С.Ю.* Гидроминеральные ресурсы санатория «Ключи» и Суксунского района// Научные и практические аспекты современной курортологии: Сб. статей межрегион. науч.-практ. конф., посвящ. 175-летию курорта «Ключи». – Пермь, 2001. – С. 211-217.
6. *Шурубор А.В., Шестов И.Н.* Месторождения и перспективные участки минеральных лечебных вод Пермской области и вопросы их охраны от загрязнения и истощения // Гидрогеология и карстование. – Пермь, 2002. – Вып. 14. – С. 44-61.

### *Дополнительная литература*

1. *Аминев А.М.* Курорт «Ключи» // Тр. Мед. Института. – Пермь, 1935.
2. Курорт Ключи. Целебные «Ключи» Урала: Рекламный буклет. – Пермь, 2005.
3. *Модестов В.К.* Прикамские сероводородные воды. – Пермь, 1935. – 50 с.

## Раздел VIII. Понятие о месторождении минеральных вод

Определение месторождения минеральных вод впервые дано А.М. Овчинниковым. Он отмечал, что хотя термин «месторождение» или «залежь» минеральных вод широко применялся во Франции, но он не имел точного определения. А.М. Овчинников предложил под месторождением минеральных вод понимать **«...пространственно оконтуренные скопления воды определенного состава (отвечающего установленным кондициям) в количествах, достаточных для экономически целесообразного их использования»**.

Понятие о месторождении минеральных вод представляет собой гидрогеологическую, бальнеологическую и экономическую категории. Оно в полной мере согласуется с понятием о месторождении полезного ископаемого.

### *Глава 1. Особенности методики поисков, разведки и оценки запасов минеральных вод*

Главной отличительной особенностью запасов минеральных вод от запасов других полезных ископаемых является их возобновляемость. Известно большое число классификаций запасов и ресурсов подземных вод (М.Е. Альтовский, Ф.М. Бочевер, Н.Н. Биндеман, В.Н. Куделин, Н.Н. Плотников, Л.С. Язвин и др.).

*Естественные запасы (ёмкостные)* – объем гравитационной воды 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 в горных породах, называется упругими запасами.

*Искусственные запасы* – объем воды в водоносном горизонте, накопившийся в результате орошения, подпора водохранилища или за счет осуществленных мероприятий по искусственному восполнению подземных вод.

Часто в литературе естественные запасы называют «статическими», «вековыми» или «геологическими», а естественные ресурсы – «динамическими запасами».

Для определения эксплуатационных возможностей горизонта нужно знать его эксплуатационные запасы. По Г.В. Куликову и др. (1991) и инструкции ГКЗ (1984) «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 хозяйстве в течение расчетного срока водопотребления».

При установившемся режиме фильтрации эксплуатационные запасы полностью обеспечиваются возобновляемыми источниками их формирования. При неустановившемся – в полной мере не обеспечиваются возобновляемыми источниками и в связи с этим не происходит сработка ёмкостных (естественных) запасов.

Соотношение между эксплуатационными, естественными и искусственными запасами и ресурсами определяется (по Н.Н. Биндеману и Л.С. Язвину) балансовым уравнением:

$$Q_э = \alpha_1 Q_e + \alpha_2 (V_e/t) + \alpha_3 Q_u + \alpha_4 (V_u/t) + Q_{пр},$$

где  $Q_э$  – эксплуатационные запасы, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_e$  и  $Q_u$  – естественные и искусственные ресурсы, м<sup>3</sup>/сут;

$V_e$  и  $V_u$  – естественные и искусственные запасы, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{пр}$  – привлекаемые ресурсы, увеличивающие питание подземных вод, м<sup>3</sup>/сут, образующиеся при усилении фильтрации из рек, озер и перетекаемые из смежных водоносных горизонтов под воздействием эксплуатации;

$t$  – время, на которое рассчитываются эксплуатационные ресурсы;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$  – коэффициенты использования естественных и искусственных запасов и ресурсов подземных вод.

Запасы подземных вод подразделяются на пять категорий. Запасы категорий А, В, С<sub>1</sub> являются разведанными, запасы С<sub>2</sub> – предварительно оцененными, к категории Р относятся прогнозные ресурсы минеральных вод.

### *Основные методы поисков и разведки месторождений минеральных вод*

К основным видам и методам поисков относятся:

- ◆ 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.

### *Оценка эксплуатационных запасов минеральных вод*

Главное требование состоит в выяснении вопроса о степени стабильности их качества при заданном режиме эксплуатации месторождения. Должны быть получены достоверные данные о гидрохимическом режиме месторождения, условиях формирования состава вод и их особенностях, которые определяют лечебные свойства.

Оценка эксплуатационных запасов минеральных вод состоит из определения количества воды, которое может извлекаться из месторождения в течение заданного срока эксплуатации при сохранении стабильности ее химического состава, физических свойств и удовлетворительного санитарного состояния.

Оценка эксплуатационных запасов минеральных вод производится гидравлически и гидродинамически.

Гидравлический метод применяется на месторождениях со сложными условиями, где из-за влияния водозабора аналитическим путем невозможно осуществить прогноз изменения гидродинамической обстановки. К сложным относятся трещинно-жильные месторождения артезианских бассейнов с неоднородными фильтрационными свойствами продуктивных водоносных горизонтов. На многих месторождениях артезианских бассейнов несложного строения, характеризующихся фильтрационной неоднородностью 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.

Сущность гидравлического метода (для месторождений со сложными, неоднородными условиями формирования и фильтрации) 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. Достоверная оценка запасов гидравлическим методом может быть обеспечена только на основе проведения гидрогеологического опробования при стационарном режиме, т.е. когда наступает равновесное состояние между всеми факторами, участвующими в формировании минеральных вод.

При сложных гидрогеологических условиях кроме детальной разведки месторождения организуют эксплуатационную разведку, в процессе которой ведутся стационарные наблюдения за режимом эксплуатации минеральных вод, изучаются условия формирования депрессионной воронки на площади влияния водозаборного сооружения, характер изменения качества минеральных вод в газовом и многолетнем разрезе и т.д.

## ***Глава 2. Охрана минеральных вод от истощения и загрязнения***

Загрязнение минеральных вод – это ухудшение их естественных свойств, изменение физико-химических и биологических показателей в результате антропогенного воздействия (или естественного разубоживания), что делает эти воды частично или полностью непригодными для использования.

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: промстоки, поверхностный сброс, сельскохозяйственные стоки, закачка загрязняющих веществ в глубокие горизонты. Так, промышленные, бытовые и сельскохозяйственные стоки могут интенсивно загрязнять минеральные воды трещинно-жильных и трещинно-пластовых месторождений кристаллических щитов и массивов. В то же время порово-пластовые воды месторождений крупных артезианских бассейнов защищены от поверхностных источников загрязнения.

## *Источники загрязнения минеральных вод*

Г.В. Куликов, А.В. Желваков, К.С. Бондаренко предлагают при оценке естественной защищенности месторождений минеральных вод источники всех видов загрязнения подразделять на поверхностные и глубинные. К поверхностным относятся инфильтрации любых загрязнений с поверхности земли или непосредственно сточных вод из накопителей стоков предприятий, загрязненных вод с полей фильтрации и так далее. К глубинным относятся поступления загрязнителей из смежных горизонтов через литологические или тектонические гидрогеологические «окна» в разделяющих водоупорах, а также по техническим дефектам в обсадке скважин или при сбросе загрязняющих веществ в горные выработки (шахты или скважины). Надо иметь в виду, что требования к качеству лечебных минеральных вод (ПДК) должны быть более высокими, чем к качеству вод хозяйственно-питьевого назначения, так как даже незначительные отклонения от кондиций могут привести к существенному изменению лечебных свойств минеральных вод.

При оценке естественной защищенности месторождений минеральных вод целесообразно все источники химического, биологического, радиоактивных и других видов загрязнения подразделить на поверхностные и глубинные (т.е. поступление загрязнения с поверхности земли или перетекание из одного горизонта в другой, по затрубному пространству скважины, через маломощные слабопроницаемые пласты).

## *Основные виды водоохранных мероприятий*

К профилактическим водоохранным мероприятиям относятся: систематический контроль за качеством минеральных вод и проявлением процессов их загрязнения, гидрогеологическое обоснование размещения промышленных, сельскохозяйственных, гидротехнических и др. объектов в районе месторождения минеральных вод.

Методы определения путей миграции техногенных загрязнителей в минеральные воды разработаны еще слабо. Поэтому важное значение для их охраны имеет установление санитарных зон с различной степенью ограничений: 1) строгого режима; 2) ограничений; 3) наблюдений.

Первая зона охватывает водозаборы минеральных вод. Вторая зона охватывает территорию, с которой происходит поверхностный сток. Третья зона охватывает область питания и формирования минеральных вод.

### *Основная литература*

1. *Вартанян Г.С., Яроцкий Л.А.* Поиски, разведка и оценка эксплуатационных запасов месторождений минеральных вод. – М.: Недра, 1972. – 127 с.
2. Правила разработки и охраны месторождений минеральных вод и лечебных грязей. – М.: Изд-во Госгортехнадзора России, 1998. – 27 с.
3. *Плотникова Р.И., Соустова Т.Н.* Минеральное сырье. Минеральные подземные воды // Справочник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. – 57 с.
4. Справочное руководство гидрогеолога. Т. 2. Л. – Недра, 1979. – 295 с.

## **МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ**

Авторы-составители:  
**Минькевич** Ирина Игоревна,  
**Нуриев** Ильдар Саяхович,  
**Шестов** Иван Никандрович

Учебное пособие

Редактор *И.Г. Кондратьева*  
Компьютерная верстка *И.Л. Костюченковой*

Подписано в печать 18.01.2012.  
Форм. 60 x 84 1/16. Гарнитура «Таймс».  
Печать ризографическая.  
Печ.л. 8. Тираж 150. Заказ 27.

Отпечатано в лаборатории оперативной  
полиграфии Издательства КФУ  
420045, Казань, Кр.Позиция, 2а  
Тел. 233-72-12