

~~~~~ К. А. Горбунова ~~~~~

# КАРСТ ГИПСА СССР



~~~~~ Пермь — 1977 ~~~~~

GEOGRAPHICAL SOCIETY OF THE USSR
ALL-UNION KARSTOLOGY AND SPELEOLOGY INSTITUTE
PERM UNIVERSITY

K. A. GORBUNOVA

GYPSUM KARST OF THE USSR

PERM – 1977

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР
ПЕРМСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А. М. ГОРЬКОГО
ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ КАРСТОВЕДЕНИЯ И СПЕЛЕОЛОГИИ

К. А. ГОРБУНОВА

КАРСТ ГИПСА СССР

Учебное пособие по спецкурсу

ПЕРМЬ – 1977

Г67 **К. А. Горбунова.** Карст гипса СССР. Учебное пособие по спецкурсу. Изд. Пермского ун-та. 1977, 84 с.

Среди различных литологических типов карста наиболее распространен карбонатный. Второе место по распространенности и влиянию на хозяйственную деятельность человека принадлежит гипсовому карсту. К сожалению, до сих пор отсутствует обстоятельная сводка по карсту гипсов и ангидритов. Выпускникам геологических факультетов университетов и технических вузов, работающих в карстовых районах Приуралья, Башкирии, Поволжья, Подольи, Восточной Сибири, Средней Азии и других, часто приходится сталкиваться с гипсовым карстом. По сравнению с карбонатным гипсовый карст отличается более быстрым развитием, что создает осложнения при проектировании, строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских сооружений, каналов, дорог и гидротехнических узлов.

Учебное пособие по спецкурсу «Карстование» может быть также использовано при чтении курсов «Гидрогеология» и «Инженерная геология». Оно окажет помощь и геологам, ведущим изыскания в районах гипсового карста.

Ответственный редактор профессор Г. А. Максимович

Печатается по постановлению редакционной коллегии геологического факультета Пермского университета.

Утверждено в качестве учебного пособия Методическим советом Пермского университета.

ВВЕДЕНИЕ

Гипсы и ангидриты входят в состав галогенных формаций, которые широко распространены на территории СССР. Погребенные и обнаженные гипсы и ангидриты, а также гипсоносные породы различного возраста занимают площадь более 5 млн. км².

В зоне выветривания и активного карстообразования сульфаты кальция представлены обычно гипсом, образующимся за счет гидратации ангидрита. В связи с этим в работе применяется термин гипсовый карст вместо карст гипсов и ангидритов. При чередовании гипсов с карбонатными породами проявляется карбонатно-гипсовый карст, а на контактах с солями – гипсово-соляной.

Гипсовый карст обладает более высокой активностью по сравнению с карбонатным. Распространение его не ограничивают ни температура (в интервале от 0° до 40°), ни состав природных вод. Гипсовый карст проявляется в полупустынных и пустынных условиях при наличии в толще гипса вод с повышенной минерализацией хлоридно-натриевого состава, агрессивных по отношению к гипсу.

Для гипсового карста характерны провалы, частота которых может превышать 2 на 1 км² в год, и большая плотность воронок (до 1000 на 1 км²). В связи с этим районы гипсового карста являются неблагоприятными в инженерно-геологическом отношении. Проектирование и строительство различных объектов здесь требуют дополнительных средств для специальных исследований карста и принятию мер по защите сооружений от провалов. Методы оценки устойчивости закарстованных территорий успешно разрабатываются Дзержинской карстовой станцией ПНИИСа, Кунгурским стационаром Уральского научного центра АН СССР, Западно-Уральским ТИСИЗом (Уфа).

Большой вклад в изучение морфологии и гидрогеологии гипсового карста Приуралья внесли Пермский университет и Всесоюзный институт карстоведения и спелеологии. Благодаря работе спелеологов открыты и закартированы пещеры Пинего-Северодвинской области, среди них Конституционная протяженностью 5 км (Ленинградская секция спелеологии), Подолии с длиннейшей гипсовой пещерой Оптимистической, достигающей 109 км (Тернопольская секция).

К настоящему времени накоплен большой материал по морфологии, гидрологии, гидрогеологии, инженерной геологии районов гипсового карста. В известных монографиях [1, 2, 5, 7, 8] теория карстоведения разрабатывается в основном применительно к карбонатному карсту. Опубликованы монографии по соляному карсту [4, 6].

Ранее были рассмотрены некоторые особенности гипсового карста на примере детально изученных карстовых районов Пермской области [3]. В этом пособии освещаются только три вопроса – карстующиеся породы, геологические и гидрогеологические закономерности распространения карста галогенных отложений на примере европейской части СССР и влияние гипсового карста на отдельные элементы природного ландшафта.

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО КАРСТУ

1. Гвоздецкий Н. А. Карст. Изд. 1-е и 2-е. М., Географгиз, 1950, 1954.
2. Гвоздецкий Н. А. Проблемы изучения карста и практика. М., «Мысль», 1972.
3. Горбунова К. А. Особенности гипсового карста. Пермь, 1965.
4. Дзенс-Литовский А. И. Соляной карст СССР. Л., «Недра», 1966.
5. Зайцев И. К. Вопросы изучения карста СССР. Л. – М., Гостеолиздат, 1940.
6. Короткевич Г. В. Соляной карст. Л., «Недра», 1970.
7. Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. I и II. Пермь, 1963, 1969.
8. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962.
9. Ступишин А. В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. Казань, 1967.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО КАРСТУ

10. Вологодский Г. П. Карст Иркутского амфитеатра. М., «Наука», 1975.
11. Дублянский В. Н. Карстовые пещеры. М., «Знание», 1977.
12. Максимович Г. А. Карст. М., «Знание», 1960.
13. Максимович Г. А., Горбунова К. А. Карст Пермской области. Пермь, 1958.
14. Тинтилозов З. К. Карстовые пещеры Грузии. Тбилиси, «Мецниереба», 1976.
15. Чикишев А. Г. Географические условия развития карста. Изд. Московского ун-та, 1975.
16. Gams I. Kras. Ljubljana, 1974.
17. Jakucs L. Morphogenetics of karst regions. Budapest, 1977.

ГИПСО-АНГИДРИТОВЫЕ ПОРОДЫ

Гипс является сернокислой водной солью кальция ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Химически чистый гипс содержит 32,56 % CaO, 46,51 % SO_3 и 20,93 % H_2O . Кристаллизуется гипс в моноклинной сингонии, образуя как одиночные, так и сдвойникованные кристаллы («ласточкины хвосты»).

Гипс обладает спайностью весьма совершенной (по 010), совершенной (по 111), несовершенной (по 100). Твердость его 2, удельный вес 2,2–2,4 г/см³. Структура слоистая, причем слои ионов Ca^{+2} и SO_4^{-2} разделяются слоями молекул воды.

Ангидрит – безводная сернокислая соль кальция (CaSO_4). Химически чистый ангидрит содержит 41,2 % CaO и 58,8 % SO_3 . Он кристаллизуется в ромбической сингонии, обладает совершенной спайностью по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Твердость его 2,5–3,5; удельный вес 2,92–3,10 г/см³ [10].

Гипс и ангидрит входят в группу галогенных пород. Порода, состоящая из гипса и ангидрита, называется гипсо-ангидритом или ангидрито-гипсом. Существуют породы смешанного состава: доломито-гипсы или гипсо-доломиты и соответственно доломито-ангидриты или ангидрито-доломиты. Встречаются также глинистые разности перечисленных пород. Осадочные породы, содержащие гипс в виде рассеянных кристаллов, желваков, линз, прожилков и т. п., выделяются как гипсоносные или загипсованные. Массивные белые разновидности гипса называют алебастром, средне- и крупнозернистые – сахаровидным гипсом, волокнистые – селенитом (или лунным камнем).

Породы гипс и ангидрит сложены одноименными минералами. Среди примесей встречаются аутигенные минералы, глинистое вещество и песчано-алевритовые обломочные зерна. Из первичных аутигенных наиболее часто встречаются доломит, галит, целестин, пирит (марказит), опал, халцедон, кварц. Изредка и в очень небольшом количестве обнаруживаются магнезит, анкерит, барит, флюорит, сера, бораты, сфалерит, тонкораспыленное органическое вещество (битум). Вторичные аутигенные минералы могут быть представлены как минералами, перечисленными в группе первичных, так и целым рядом других: кальцит, окислы и гидроокислы железа, бораты, гипс (в ангидрите), калийные и магнезиальные соли, арагонит, селлаит, квасцы и др.

Обломочный материал в мощных толщах ангидрита и гипса лагунного происхождения присутствует в очень небольшом количестве. Он представлен обычно мелкими фракциями (алеаврит; мелкий или реже крупный песок) и содержит ничтожное количество тяжелых минералов. Состав глинистого материала в гипсах и ангидритах почти не изучался. В исследованных месторождениях глинистый материал в гипсах представлен гидрослюдой, наряду с которой присутствуют магнезиальные гидрохлориты [18].

Химический состав гипса зависит от количества и состава примесей (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

**Химический состав гипсов Подольско-Буковинской области, %
(по данным В. Н. Дублянского и Б. М. Смольникова, 1969 г)**

| Место отбора | CaSO ₄ ·2H ₂ O | MgO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | Σ |
|---------------|--------------------------------------|------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|--------|
| Нижнее Кривче | 99,47 | 0,07 | 0,04 | нет | 0,54 | 100,12 |
| Там же | 99,63 | 0,29 | 0,02 | нет | 0,13 | 100,07 |
| Там же | 99,83 | нет | 0,02 | 0,18 | 0,13 | 100,16 |
| Млынки | 99,72 | 0,09 | 0,03 | 0,11 | 0,19 | 100,14 |
| Стрелковцы | 99,38 | нет | 0,04 | нет | 0,12 | 99,54 |

Гипс и ангидрит – слоистая или массивная порода от микро- до грубозернистого сложения (обычно у гипса). Цвет гипса от белого, светло-серого, желтоватого и зеленоватого до красного и черного. Ангидрит имеет светло-серую, почти белую и голубоватую окраску, реже зеленовато-серую, темно-серую до черной или красноватую. Серые и желтоватые оттенки обусловлены наличием доломита, глинистого и песчаного материала, розовые и красные – окислов железа, темно-серые до черных – органического вещества, зеленоватые – глинистого материала.

Гипс и ангидрит обладают значительной вязкостью. Излом у них неровный до занозистого, нередко зернистый. В пластовых отложениях гипса и ангидрита встречаются глыбовая, пластовая, неправильно плитняковая, реже плитчатая, желвакообразная, остроугольная отдельности.

Гипс и ангидрит, их генезис

Генетическая классификация гипса и ангидрита. Я. К. Писарчик [18] приводит классификацию месторождений гипса М. Ф. Викуловой.

Первичные месторождения: I – лагунные, образованные испарением морской воды; II – континентальные, образованные концентрацией рассеянного материала во внутренних бассейнах (1) или на земной поверхности (2).

Вторичные месторождения (все континентальные): I – переотложенные скопления гипса; II – метасоматические за счет замещения карбонатов и растворимых сульфатов гипсом циркулирующими грунтовыми водами, содержащими ион серной кислоты (1), или путем воздействия на известняки сернистых источников и вулканических агентов (2); III – месторождения «кепрок» (гипсовых или гипсово-ангидритовых шляп) соляных куполов; IV – месторождения выветривания за счет гидратации ангидритов.

Основная масса гипсо-ангидритовых пород имеет лагунно-морское происхождение. Гипсы и ангидриты входят в состав галогенных формаций [11, 12, 25]. По А. А. Иванову и М. Л. Вороновой [11], г а л о г е н н ы е ф о р м а ц и и – это пространственно развитые геологические образования, возникшие в аридных климатических условиях в бассейнах повышенной и высокой солености и связанные с определенными тектоническими элементами и структурами Земли. По литологическому признаку формация может быть соляная, сложенная преимущественно каменной солью; соленосная, представленная чередующимися пачками и слоями каменной соли и аутигенно-терригенных пород; калиеносная; галито-мирабилито-глауберитовая; ангидритовая; ангидрито-карбонатная; гипсоносная или терригенно-гипсоносная.

Диagenетический цикл гипс – ангидрит – гипс. Первоначальное отложение сульфата кальция в солеродных бассейнах происходило в виде гипса [25]. С момента отложения сульфаты кальция проходят диagenетический цикл: гипс – ангидрит – гипс. По мере погружения гипса в зоны повышенных давлений и температур он дегидратируется и переходит в ангидрит. При поднятии земной коры ангидрит оказывается в зоне выветривания, где он подвергается гидратации и снова превращается в гипс (рис. 1). Гипсы в зоне выветривания являются своеобразной корой выветривания ангидритов [25].

Ряд исследователей считают, что гидратация сопровождается увеличением объема породы до 64,9 %. Это приводит к увеличению мощности, возникновению раздувов, а также к образованию катакластических и кристаллопластических структур и текстур в гипсе и во вмещающих породах [18]. Однако нередко признаки значительного увеличения объема не обнаруживаются; в последнем случае, вероятно, происходит удаление части сульфата кальция (возможно, путем растворения) в процессе гидратации ангидрита [27].

Гидратация сопровождается образованием очень мелких кристалликов гипса, перекристаллизующихся затем в более крупные. Увеличение давления препятствует гидратации [9]. Обычная глубина распространения процессов гидратации 100–150 м при

колебаниях от 10 до 350 м. В Шорсуйском районе ангидриты местами выходят на поверхность. В районе Жигалово, где проявляется соляная тектоника (Восточная Сибирь), наблюдалась почти полная гидратация ангидрита до глубины 850 м [18]. На соляно-купольных поднятиях мощность зоны гипсования достигает 340–700 м [25].



Рис. 1. Диагенетический цикл гипс-ангидрит-гипс [31]

Текстуры гипса и ангидрита. Представлены первичными и вторичными [18].

Первичные текстуры возникают в процессе седиментации.

I. Однородные, характеризующиеся отсутствием агрегатных группировок компонентов: массивные, сплошные и др.

II. Неоднородные слоистые, которые делятся 1) по соотношению мощности чередующихся слоев на равномернослоистые, неравномернослоистые; 2) по мощности слоев на микрослоистые или листоватые, тонко-мелко-, средне-, толстослоистые; 3) по форме поверхностей слоев на горизонтально-, волнисто-, линзовиднослоистые и линзовидно-пятнистые.

III. Оползневые (в результате подводного оползания). Смятые слои залегают среди горизонтально-слоистых; встречаются среди доломито-ангидритовых отложений.

Вторичные текстуры возникают в стадию диагенеза и при дальнейших изменениях породы.

I. Возникшие в процессе диагенеза и эпигенеза: 1) за счет избирательной перекристаллизации под влиянием циркулирующих вод: пятнистые, линзовидные, полосчатые, желвакообразные, сферолитовые, грубосферолитовые, порфиroidные, очковые, встречаются также однородные и сетчатые; 2) за счет собирательной перекристаллизации: узловатые, пятнистые, сферолитовые, петельчатые, линзовидные.

II. Катакlastические, образовавшиеся под влиянием тектонических факторов: брекчиевидные, пloyчатые и микроплойчатые.

III. Образовавшиеся под влиянием выветривания, гидратации, выщелачивания и других процессов зоны выветривания. Здесь встречаются все перечисленные виды вторичных текстур. В процессе гидратации ангидрита могут возникнуть текстуры, сходные с первичными слоистыми, например, в гипсо-ангидритовых шляпах. При

выветривании и выщелачивании возникают рыхлая, мелоподобная, моховидная, землистая текстуры. При выщелачивании из породы более растворимых минералов образуются кавернозная и пещеристая текстуры.

Структуры гипса и ангидрита подразделяются на первичные и вторичные [18].

Первичные структуры возникают при выпадении минералов из раствора: 1) микро-, тонко-, мелко- и среднезернистая, крупно- и грубозернистая для континентальных гипсовых образований; 2) брусковидная; 3) параллельно- или спутанно-волокнистая; 4) идиометрически-зернистая для двухкомпонентных пород, например, ангидрито-доломитов и гипсо-доломитов.

Вторичные структуры возникают в результате частичной или полной перекристаллизации или замещения пород.

I. Кристаллобластовые – за счет диагенеза и эпигенеза, подразделяются 1) по крупности зерна на тонко-, мелко-, средне-, крупно- и грубозернистые; 2) по форме и расположению зерен на равнозернистые (мозаичная, пластинчатая или таблитчатая, параллельно- и перепутанно-чешуйчатые, волокнистая, радиально-лучистая), неравнозернистые (пластинчатая, чешуйчатая, волокнистая, радиально-лучистая с резко различными размерами составляющих индивидов; порфиروбластовая, псевдопорфиروбластовая, пойкилобластовая, идиометрически зернистая).

II. Метасоматические – за счет замещения или разложения вещества породы под влиянием водных растворов, например, при гидратации: 1) остаточные (остаточно-зернистая, таблитчатая, перистые, венчиковые, порфировидная, пойкилобластовая); 2) собственно-метасоматические в гипсах, возникших за счет полной гидратации ангидритов, среди них имеются все разновидности кристаллобластовых структур.

III. Катакластические – брекчиевидные структуры со следами механического раздробления и последующей цементации зерен.

IV. Кристаллопластические структуры с изогнутыми пластинчатыми кристаллами.

К. Н. Андриановская [1] осветила вопрос о генетических взаимоотношениях микроструктур ангидритовых и гипсовых пород на примере Индерского поднятия.

Четыре ветви гипсо-ангидритовых пород. Поскольку гипсы в зоне выветривания возникли за счет гидратации ангидрита, Н. М. Страхов [25] разрабатывает классификацию сульфатных пород, ориентируясь на свойства ангидрита. Основным компонентом ангидритовых пород является CaSO_4 , к которому примешиваются карбонаты Ca и Mg, терригенный материал, а также органическое вещество. По количественным соотношениям этих компонентов Н. М. Страхов и А. И. Цветков выделяют четыре ветви ангидритовых пород [25]:

- 1) собственно ангидриты с содержанием $\text{CaSO}_4 > 95\%$;
- 2) доломито-ангидритная ветвь с $95\text{--}50\%$ CaSO_4 и значительной примесью доломита;
- 3) карбонатно-пелито-ангидритная ветвь с $95\text{--}50\%$ CaSO_4 , причем примеси распределяются пополам между карбонатным и пелитовым материалом;
- 4) ангидритно-кластическая ветвь с $95\text{--}50\%$ CaSO_4 , основной примесью являются обломочные частицы.

В группе собственно ангидритов основную массу породы образует ангидрит. Карбонатным компонентом является, как правило, доломит с содержанием от следов до $3,48\%$. Кальцит едва улавливается, порою присутствует магнезит (MgCO_3). Из акцессорных минералов обнаружены целестин, флюорит, иногда барит. Встречаются локальные скопления солей.

Закономерности распространения галогенных формаций

Основные типы разрезов галогенных формаций. Отложения, вмещающие галогенные формации, представлены морскими и континентальными комплексами пород. В составе морских комплексов преобладают карбонатные породы (доломиты, доломитизированные и чистые известняки, мергели), но распространены также карбонатные глины, аргиллиты, алевролиты, глинисто-песчаниковые породы и песчаники. Среди континентальных комплексов важную роль играют песчано-глинистые красноцветные или пестроцветные отложения, представленные мелко- и тонкозернистыми песками, песчаниками, песчаными глинами, глинистыми песками и глинами; встречаются также конгломераты и брекчии, местами пачки и слои мергелей, доломитов и известняков химического происхождения.

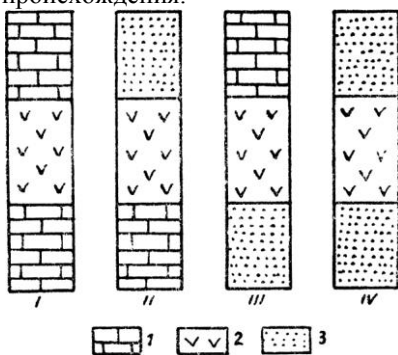


Рис. 2. Взаимоотношение галогенных формаций с вмещающими породами:
1 – морские отложения, 2 – галогенные формации, 3 – красноцветные отложения [29]

В. С. Крумбейн [29] выделяет четыре типа взаимоотношений галогенных формаций с вмещающими породами (рис. 2). На территории СССР распространены все четыре типа разреза, но наиболее развит первый [12].

Первый и второй типы разрезов свойственны преимущественно палеозойским (нижний кембрий, девон, нижняя пермь), мезозойским и кайнозойским (юра, неоген) галогенным формациям в пределах платформенных структур: синеклиз, впадин и краевых прогибов. Первый тип характеризуется сменой морских условий накопления осадка лагунными и затем вновь – морскими. Второй тип отличается от первого тем, что накопление галогенных осадков было подавлено усиленным притоком в соляной бассейн вод с суши, приносивших терригенный материал. Третьим и четвертым типами разрезов обладают галогенные формации преимущественно мезозоя и кайнозоя в пределах межгорных впадин и синклинальных структур складчатых областей, а также и на платформах. Третий тип характеризуется сменой условий осадконакопления вначале континентальных, затем лагунных и в конце – морских. Четвертый тип отличается расположением галогенных формаций (континентальных, континентально-лагунных и лагунных) среди континентальных красноцветных пород. Наиболее мощные галогенные формации, содержащие залежи каменной и калийной солей, имеют первый и второй типы разрезов. Гипсы и ангидриты содержатся во всех галогенных формациях, известных на территории СССР (рис. 3).

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | к | | | к | | к | | | | к | |
| | | | | | | к | | | к | | к | | | | к | |
| к | к | | | | | к | | | к | к | к | | | | к | |
| с | с | | | | с | с | с | | с | с | с | | | | с | т |
| с | с | | | | с | с | с | | с | с | с | | | | с | с |
| с | с | | | | с | с | с | | с | с | с | | | с | с | с |
| г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г |
| г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г | г |
| н | в | н | в | н | с | в | н | с | н | в | в | н | в | | р | н |
| е | о | с | | | д | | с | | р | | ж | к | | | р | н |

г г 1
 с с 2
 к к 3
 т т 4

Рис. 3. Соотношение главных компонентов галогенных формаций на территории СССР: 1 – гипс и ангидрит, 2 – каменная соль, 3 – калийные соли, 4 – тенардит, мирабилит и другие [12]

Стратиграфические закономерности распределения галогенных формаций. Н. М. Страхов [25] отмечает следующие особенности распределения галогенных пород и формаций в стратиграфическом разрезе:

1. Галогенные отложения появляются лишь с самого конца протерозоя.
2. Выделяются эпохи, в течение которых галогенные породы почти не возникали, и эпохи необычайно сильного проявления гало- генеза.
3. В мезозое и кайнозое интенсификация происходила путем увеличения числа месторождений гипсов и солей, ограниченных по площади и массе. В галогенные эпохи палеозоя возникали немногие, но колоссальные месторождения.
4. В общем галогенные эпохи тяготеют к эпохам горообразования и регрессий, но реальная картина значительно сложнее.
5. Наблюдается закономерность в стратиграфическом размещении разных типов галогенных формаций. Континентальные формации, представленные гипсами, известны в нижнем карбоне, затем появляются только в неогене. Формации лагунного типа прослеживаются начиная с кембрия до настоящего времени, а крупных заливов отмечены только в мелу и палеогене. Формация краевых частей огромных эпиконтинентальных морей установлена для девона, а крупных внутриконтинентальных солеродных морей – только для перми.

Распространение галогенных формаций на территории СССР.

Путем анализа литолого-палеогеографических карт СССР [2] установлено несколько эпох интенсивного галогенеза: алданско-амгинская (кембрий) с общей площадью сульфато- и солеродных бассейнов около 1,5 млн. км², ассельско-кунгурская (пермь) с площадью бассейнов 2,5 млн. км², оксфорд-валанжинская (юра – мел) – более 600 тыс. км², палеоценовая (палеоген) – более 160 тыс. км², среднемиоценовая (неоген) – около 200 тыс. км². В ордовикскую, эйфельско-фаменскую (девон), уфимско-татарскую (пермь) эпохи отлагались карбонатные и терригенные формации с подчиненной ролью сульфатов (гипсов, ангидритов) и солей [5, 6, 7, 8, 28].

Наибольшие площади галогенные формации занимают на платформах – в синеклизах и впадинах, в краевых прогибах – и незначительные – в межгорных впадинах и краевых частях складчатых систем. На территории СССР выделяется три региона распространения галогенных формаций: Восточноевропейский, Восточносибирский и Среднеазиатский.

В о с т о ч н о е в р о п е й с к и й р е г и о н . Наиболее древние гипсы приурочены к ландоверскому и венлокскому ярусам. В верхнем девоне появляются соли (рис. 4). В нижнем карбоне гипсы связаны с карбонатными отложениями. На сульфатоносные карбонатные толщи верхнего карбона приходится 785 тыс. км².

Наибольшие площади занимают сульфатные и сульфатоносные, соляные и соленосные отложения ассельского и сакмарского (1285 тыс. км²), артинского и кунгурского (1155 тыс. км²) ярусов. В казанском ярусе преобладают гипсоносные карбонатно-глинистые толщи и менее развиты сульфатные (133 тыс. км²) и соленосные

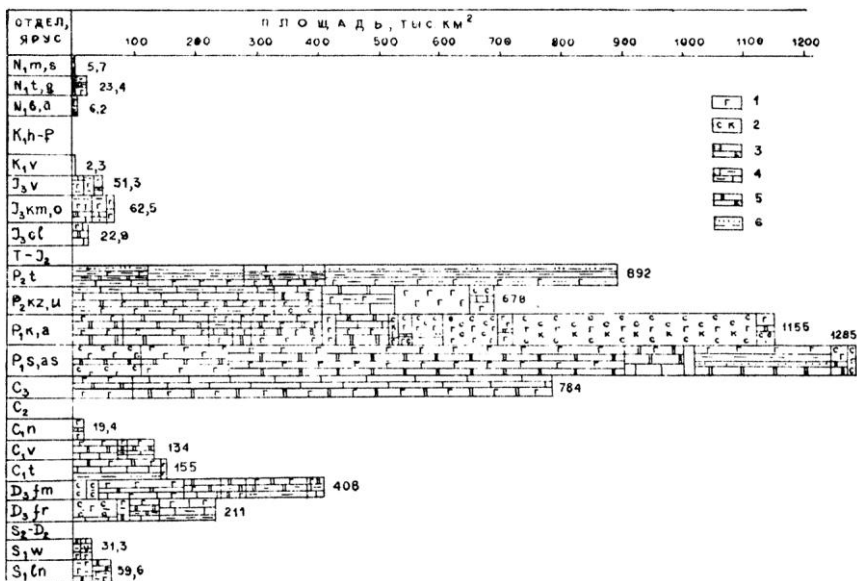


Рис. 4. Галогенные формации Восточноевропейского региона: 1 – гипс, ангидрит; 2 – соли; 3 – известняки, 4 – глинистые известняки, мергели; 5 – доломиты; 6 – песчаники, глины

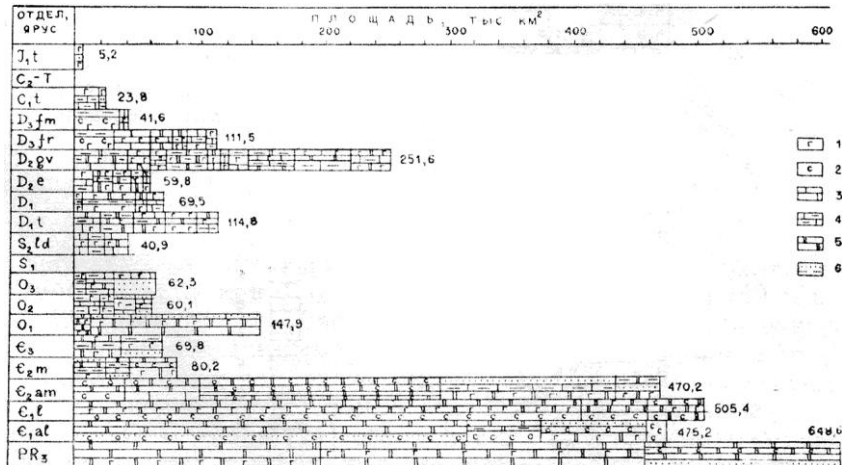


Рис. 5. Галогенные формации Восточносибирского региона: 1–6 (см. рис. 4).

отложения (105 тыс. км²). Верхнеюрские гипсы приурочены к терригенным толщам. Небольшую площадь имеют сульфатные и соленосные отложения нижнего неогена.

Восточносибирский регион. Наиболее древние проявления гипсов и солей относятся к доломитовой толще верхнего протерозоя (рис. 5). Наибольшие площади занимают галогенные формации алданского (475 тыс. км²) и ленского (505 тыс. км²) ярусов нижнего кембрия и амгинского яруса (470 тыс. км²) среднего кембрия, представленные солями и гипсами среди доломитов и песчаников. Галогенные образования верхнего кембрия, ордовика, верхнего силура, нижнего и среднего девона, состоящие из гипсов и ангидритов среди карбонатных, реже терригенных толщ. В верхнем девоне наряду с гипсами появляются соли. В турнейском ярусе

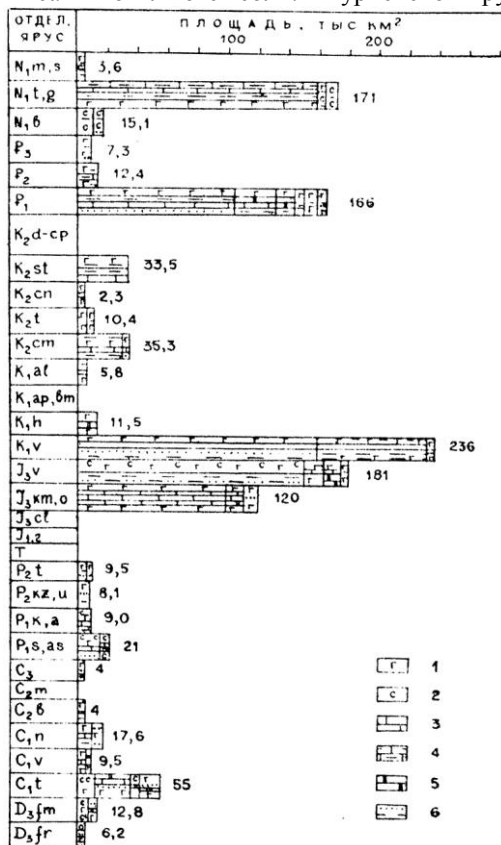


Рис. 6. Галогенные формации Среднеазиатского региона: 1–6 (см. рис. 4).

нижнего карбона и тоарском ярусе нижней юры сульфаты встречаются на ограниченной площади.

Среднеазиатский регион. Наиболее древними являются гипсы и соли верхнего девона (19 тыс. км²). Несколько большая площадь приходится на соле- и сульфатоносные отложения нижнего карбона (рис. 6). Наибольшую площадь занимают галогенные формации в составе ярусов верхней юры и нижнего мела: оксфордского и кимериджского – в основном гипсы среди карбонатных пород (120 тыс. км²), волжского – гипсы и соли в терригенной толще (181 тыс. км²) и валаижинского – гипсы среди терригенных, частично карбонатных, пород (236 тыс. км²). В нижнем палеогене (166 тыс. км²) и нижнем неогене (171 тыс. км²) гипсы залегают среди карбонатных и терригенных отложений.

Растворимость гипса и ангидрита

Одним из основных условий развития карста является наличие горных пород, состоящих из легкорастворимых в природных водах минералов. Растворимость в дистиллированной воде при $T\ 18^\circ$ $\text{NaCl} - 385,6$, $\text{CaCl}_2 - 731,9$, $\text{CaSO}_4 - 2,01$, $\text{CaCO}_3 - 0,013$ г/л. Растворимость солей зависит не только от их химической природы, но и от температуры, давления, наличия в воде примесей [20]. Давление в зоне активного водообмена существенно не меняется и,

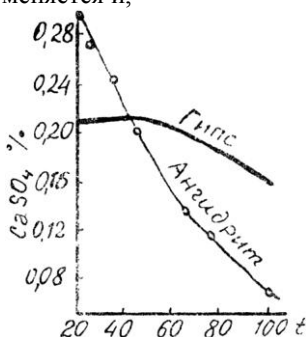


Рис. 7. Кривые растворимости гипса и ангидрита для температуры 20–100° [24]

следовательно, не влияет на растворимость сульфата кальция. Растворимость CaSO_4 при $T\ 0^\circ$ в дистиллированной воде 1,759 г/л, а при $T\ 40^\circ$ 2,093 г/л [10]. Растворимость гипса и ангидрита меняется в зависимости от температуры. Ниже $T\ 42^\circ$ растворимость ангидрита более высокая, чем гипса (рис. 7). При возрастании температуры соотношение растворимости этих минералов оказывается обратным. Д. С. Соколов [24] объясняет это неустойчивостью гипса при высоких температурах, т. е. расшатыванием и распадом тех связей, которые существуют в решетке гипса между молекулами воды и ионами Ca^{2+} и SO_4^{2-} .

Растворимость гипса повышается в интервале T 0–40°, при дальнейшем повышении температуры она уменьшается. Уменьшение растворимости с ростом температуры наблюдается и у ангидрита.

Растворимость данной соли падает в присутствии другой соли, имеющей с ней одноименный ион, и повышается, если в растворе находятся не одноименные ионы. При наличии в растворе хлористого натрия и хлористого магния растворимость сульфата кальция возрастает. В присутствии сульфата натрия растворимость CaSO_4 сначала уменьшается до 1,4 г/л (при 16,36 % Na_2SO_4), а затем возрастает до 2,6 г/л (при 222,6 г/л Na_2SO_4). В присутствии MgSO_4 и CaCl_2 растворимость CaSO_4 уменьшается. По В. М. Левченко (1950 г.), растворимость CaSO_4 достигает максимального значения 7,48 г/л при содержании в растворе 130 г/л NaCl , при 293 г/л NaCl она снижается до 5,19 г/л.

По данным Э. Б. Штерниной [26], при увеличении концентрации NaCl до 150 г/л растворимость гипса повышается, а затем падает. Ю. В. Порошин [19] провел серию экспериментов по растворению гипсов при различной температуре в присутствии ряда солей. По его данным, наибольшей скоростью растворения обладает селенит, крупно- и мелкозернистый алебастр и, наконец, прозрачный гипс. Ангидрит растворяется намного медленнее, так как процесс идет через промежуточную реакцию его полной гидратации. Скорость растворения гипса при T 0° равна $9 \cdot 10^{-8}$ см/сек. С увеличением концентрации сульфата кальция в растворе скорость растворения гипса падает в среднем на $0,19 \cdot 10^{-8}$ см/сек на каждый процент увеличения концентрации. Скорость растворения гипса прямо пропорциональна скорости движения воды: она возрастает на $3 \cdot 10^{-8}$ см/сек при увеличении скорости потока на каждый сантиметр в секунду. При температуре подземных вод 5–8° С скорость растворения гипса в дистиллированной воде равна $10\text{--}12 \cdot 10^{-9}$ см/сек, или 3,1–3,7 см/год.

Ф. Ф. Лаптев [14] определил относительные скорости растворения призм гипса размером $1 \times 1 \times 2$ см дистиллированной водой, скорость движения которой 1,2 м/мин. Относительная скорость растворения гипса в 1,8–2,6 раза больше, чем ангидрита (табл. 2).

А. М. Кузнецов [13] провел серию опытов по выщелачиванию 20 образцов гипса и ангидрита (кунгурский ярус) с ненарушенным строением из района Камской ГЭС. Выщелачивание изучалось путем определения степени воздействия воды, движущейся по искусственной трещине в породе. Оно фиксировалось количественно по концентрации в растворе сульфата кальция и количеству удаленного из породы вещества за определенный промежуток времени, при постоянной скорости движения воды в трещине и комнатной температуре. В первой серии опытов выщелачивание длилось 10 дней. В трещине шириной 1 мм непрерывно перемещалась дистиллированная или природная вода различной минерализации со

Таблица 2

Относительная скорость растворения гипсов с различной структурой [22]

| Краткое описание | Потеря веса, % | Относительная скорость растворения |
|------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| Гипс плотный, мраморовидный | 26 | 2 |
| Гипс волокнистый – селенит | 34 | 2,6 |
| Гипс плотный, местами выветрелый | 28 | 2,4 |
| Гипс мраморовидный, крупнокристалл | 24 | 1,8 |
| Гипс плотный, мелкокристалл | 25 | 1,9 |
| Ангидрит | 13 | 1 |

скоростью 0,05 см/сек. Установлено, что 1) гипс выщелачивается легче, чем ангидрит; 2) выщелачивание уменьшается по мере насыщения воды сульфатом кальция; 3) разрушающее действие воды на породу сильнее проявляется в месте поступления воды.

Вторая серия опытов показала, что насыщение воды гипсом происходит быстро. Вода, не содержащая в растворе гипса, насыщается им через 1,5–2 м пути.

Г. Г. Скворцов [23] провел эксперименты по растворению призм гипса различной структуры и состава в воде природного источника с минерализацией 0,4–0,5 г/л при скорости 2 м/мин. За сутки растворилось 10 % ангидрита, 57,8 % гипса крупнокристаллического, 77,5 % гипса тонкослоистого. Относительная скорость растворения гипса в 4,9–7,7 раза больше, чем ангидрита.

Н. В. Родионов [22] отмечает, что процесс разрушения гипса с примесями идет быстрее по сравнению с чистым гипсом. При значительном содержании нерастворимых примесей процесс растворения гипса замедляется. Д. П. Прочухан [21] на основе опытов пришел к выводу, что щель с плоскопараллельными стенками при движении по ней воды постепенно расширяется и приобретает клиновидную форму.

Экспериментальному изучению фильтрационного выщелачивания загипсованных пород посвящены работы А. Е. Орадовской [16].

Н. Н. Маслов и В. Г. Наumenко [15] определили интенсивность растворения гипса в неподвижном растворителе, проведя более 600 опытов. Было установлено, что а) скорость растворения чистого природного гипса при диффузионном переносе продуктов растворения измеряется долями миллиграмма с $\text{см}^2/\text{сутки}$; б) при конвекционном переносе вещества под влиянием гравитационных факторов (при поверхности растворения внизу) интенсивность растворения равняется в среднем 46 мг с $1 \text{ см}^2/\text{сутки}$; в) при вертикальном положении образца интенсивность растворения зависит от его

габаритов и объема растворителя. В сравниваемых условиях средняя скорость растворения равняется $35 \text{ мг с } 1 \text{ см}^2/\text{сутки}$.

Было проделано более 300 опытов для выявления зависимости между скоростью движения растворителя и интенсивностью растворения гипса. Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод о том, что скорость растворения зависит прежде всего от скорости фильтрации, гравитационных и диффузионных факторов, концентрации растворителя, структурных особенностей гипса и температуры.

Особый интерес представляет вопрос о скорости насыщения фильтрующейся воды гипсом. Эксперименты по определению длины пути насыщения проводились с чистым природным гипсом при раскрытии трещин 0,1–5,5 мм и гидравлических градиентах 0,002–1. Растворителем служила дистиллированная вода с $T 17\text{--}18^\circ$. Фильтрация была круговой. Концентрация гипса определялась по электропроводности раствора. Установлено, что насыщение водного растворителя гипсом в реальных условиях происходит на расстояниях от нескольких десятков сантиметров до нескольких десятков и сотен метров в зависимости от скорости фильтрации, раскрытия трещин и ориентации потока по отношению к растворяющейся породе. Авторы делают вывод, что при наличии в толще основания напорных сооружений гипса и неограниченной возможности питания этой толщи речной водой сооружения требуют надежной защиты от выщелачивания гипса.

Ряд экспериментов по растворимости гипса в монолитах и измельченном виде был поставлен в Пермском университете Г. И. Карзенковым под руководством И. А. Печеркина [17]. Растворение гипса производилось в дистиллированной и природной воде.

В первой серии опытов использовался гранулированный гипс, а растворителем служила дистиллированная вода с $T 17^\circ$. Величина растворения находится в прямой зависимости от скорости движения растворителя. При скорости более 30 м/час темп растворения снижается. Вторая серия опытов – растворение монолитов гипса в камской воде при $T 17\text{--}18^\circ$. Величина диффузионного растворения изменяется от нескольких граммов до миллиграммов в сутки с 1 м^2 . Определялась также скорость выщелачивания гипса в зависимости от скорости и характера движения растворителя. Количество вынесенного гипса возрастает с увеличением скорости движения растворителя, особенно при принудительном перемешивании.

На берегах Камского водохранилища за навигационный период трещины превращаются в ниши. В зависимости от ориентировки прирост их составляет 0,2–3,0 м [17].

Интересные эксперименты по растворимости карстующихся пород провел В. С. Лукин. При обработке гранулированной породы (район Кунгура) снеговой водой в течение 6 час. потеря в весе гипса составила 21,3 %, ангидрита – 3,2 %. При погружении монолитов

гипса размером 5×5×5 см в воду пещерного озера с минерализацией 1,9–2,1 г/л он терял в весе в течение года только на 6 %. При погружении в р. Сылву с минерализацией воды 0,05– 0,8 г/л вес монолита за 6 суток уменьшился на 44,4 %, а по истечении 3–4 недель гипс полностью растворился.

Данные многочисленных опытов по растворимости гипса позволяют сделать следующие выводы.

1. При температурных условиях, характерных для земной поверхности (0–40°), гипсы и ангидриты обладают высокой растворимостью по сравнению с карбонатными карстующимися породами. Развитие сульфатного карста не ограничивается температурным фактором. Он может активно протекать как в арктической зоне в периоды, когда температура устанавливается выше 0°, так и в пустынной зоне при наличии воды.

2. Большую роль в развитии сульфатного карста играет длина путей фильтрации и скорость движения воды. Насыщение природных вод гипсом происходит сравнительно быстро, поэтому мощность зоны активного карстообразования в гипсах и ангидритах обычно меньше, чем в карбонатных породах.

3. Состав природных вод, попадающих в гипсы и ангидриты, также является одним из основных факторов, влияющих на скорость растворения пород и, следовательно, на интенсивность карста. По мере насыщения воды сульфатом кальция карст затухает. Наиболее интенсивно сульфатный карст проявляется в местах поглощения пресных речных вод, разгрузки в сульфатную толщу подземных вод из некарстующихся толщ, в приречных участках карстующихся массивов, где карстовые воды подпитываются речными водами в периоды их высокого уровня, т. е. в местах поступления в гипсы пресных вод.

4. Интенсивное растворение гипсов может происходить и водами повышенной минерализации Cl–Na или SO₄–Na состава, формирующимися на контакте с залежами каменной соли или мирабилита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андриановская К. Н. О генетической последовательности образования микроструктур в ангидритовых и гипсовых породах на примере Индерского соляного поднятия. В сб.: Материалы по литологии. Тр. ВСЕГЕИ, новая серия, вып. 1, 1956.
2. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР, т. I–IV. М., 1967–1969.
3. Гвоздецкий Н. А. Карст, гл. 1. М., Географгиз, 1950.
4. Гвоздецкий Н. А. Проблемы изучения карста и практика. М., «Мысль», 1972.
5. Горбунова К. А. Опыт мелкомасштабного районирования сульфатного и сульфатно-соляного карста на основе анализа литолого-палеогеографических карт. В сб.: Пятая Всесоюзная конференция по тематической картографии (тезисы докладов), вып. 1. Тбилиси, 1973.
6. Горбунова К. А. Опыт районирования сульфатного и соляного

карста на литолого-палеогеографической и гидрогеологической основах. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 5. Пермь, 1974.

7. Горбунова К. А. Геолого-гидрогеологические условия развития карста галогенных формаций на территории европейской части СССР. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 6. Пермь, 1975.

8. Горбунова К. А., Монаков Ю. К. Геологические предпосылки развития сульфатного карста на территории СССР. В сб.: Вопросы карстоведения. Пермь, 1969.

9. Заварицкий А. Н. Гипс и ангидрит села Охлебинина. Известия Геол. Комитета, т. 33. 1924.

10. Зверев В. П. Гидрогеохимические исследования системы гипс – подземные воды. М., «Наука», 1967.

11. Иванов А. А., Воронова М. Л. Галогенные формации. М., «Недра», 1972.

12. Иванов А. А., Левицкий Ю. Ф. Геология галогенных отложений (формаций) СССР. М., Госгеолтехиздат, 1960.

13. Кузнецов А. М. О выщелачивании гипса и ангидрита. В сб.: Тезисы докладов Пермской карстовой конференции. Пермь, 1947.

14. Лаптев Ф. Ф. Агрессивное действие воды на карбонатные породы, гипсы и бетоны. М. – Л., 1939.

15. Маслов Н. Н., Науменко В. Г. Условия устойчивости напорных сооружений на загипсованных породах. В сб.: Растворение и выщелачивание горных пород. М., Гостройиздат, 1957.

16. Орадовская А. Е. Определение растворяющей способности фильтрационного потока в гипсоносных породах по данным натурных наблюдений. В сб.: Труды Лаборатории инженерной гидрогеологии, вып. 4. ВОД ГЕО, 1962.

17. Печеркин И. А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ, ч. II. Пермь, 1969.

18. Писарчик Я. К. Гипсы и ангидриты. Справочное руководство по петрографии осадочных пород, т. II, гл. XII. Л., Гостоптехиздат, 1958, с. 321 – 343.

19. Порошин Ю. В. К вопросу о скорости растворения гипса подземными водами. Ежемес. Горьковский краев. упр. единой гидрометеорол. службы СССР, вып. 2 – 3(38–39), 1934.

20. Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод. Л., Гидрометеоролиздат., 1966.

21. Прочухан Д. П. Проблема растворимости гипса в гидротехническом строительстве. В сб.: Доклады на научном совещании по изучению карста, вып. 7. М., 1956.

22. Родионов Н. В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах. М., Госгеолтехиздат, 1958.

23. Скворцов Г. Г. О скорости развития карста в гипсах. В кн.: Вопросы изучения подземных вод и инженерно-геологических процессов. М., Изд. АН СССР, 1955.

24. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962.

25. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. III. М., Изд. АН СССР, 1962.

26. Штернина Э. Б. Растворимость гипса в водных растворах солей. Известия сектора физико-химического анализа Ин-та общей и неорганической химии АН СССР, т. 17, 1949.

27. GoIdman M. I. Deformation, metamorphism and mineralization in gypsum-anhydrite cap rock Sulphur Salt Dome Louisiana. Geol. Soc. of Amer. Mem. 50, 1952.

28. Gorbunova K. A. Geological factors in the development of gypsum-halite karst on the territory of the USSR. Abstr. of papers VI Intern. Congress of Speleology. Olomouc, 1973.

29. Rumbain W. C. Occurrence and lithologie Associations of Evaporites in the United States. J. of Sedim. Petrol., v. 21, N 2, 1952.

30. Macdonald G. I. F. Anhydrite-gypsum equilibrium relations. *Ainer., J. Sci.*, v. 251, 1953.
31. Murray R. C. Origin and diagenesis of gypsum and anhydrite. *J. of Sedimentary Petrology*, v. 34, N 3, 1964.

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ КАРСТА ГАЛОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Основные геологические и гидрогеологические закономерности распространения карста выявляются на основе мелкомасштабного районирования карста обширных и разнообразных в геологическом отношении территорий. Районированию карста всей территории или крупных регионов СССР посвящены работы М. А. Зубашенко [43], Н. А. Гвоздецкого [19, 22], Г. А. Максимовича [83, 84, 85, 86], Н. В. Родионова [109], А. Г. Чикишева [22], К. А. Горбуновой [29, 30], соляного карста – А. И. Дзенс-Литовского [35], Г. В. Короткевича [67] и других.

Первая схема районирования карста СССР, получившая наибольшее признание, составлена Г. А. Максимовичем в 1946 г. и опубликована в 1958 г. [83]. В основу выделения крупных таксономических единиц он положил геотектонический признак. Карстовые страны, провинции и области соответствуют крупным геоструктурным единицам, в пределах которых распространены карстующиеся породы и приуроченные к ним древние и современные формы карста. Многими исследователями границы карстовых областей проводились по контурам структур. При мелкомасштабном районировании карста галогенных отложений более надежной является литолого-палеогеографическая основа. Районирование на такой основе позволяет прогнозировать древний и современный карст на мало исследованных территориях, что важно при проектировании объектов, пересекающих большие площади. Оно дает возможность выявить геологические закономерности развития карста. Основным условием развития карста является наличие карстующихся пород на данном участке земной коры. Путем анализа литолого-палеогеографических карт [3] составляются карты-схемы распространения галогенных формаций различного возраста. Наложение отдельных карт позволяет получить карту распространения разновозрастных галогенных формаций. На территории СССР выделяется три региона распространения галогенных формаций: Восточноевропейский, Среднеазиатский и Восточносибирский.

Развитие карста возможно только в особых гидрогеологических условиях. Площади распространения галогенных формаций обычно приурочены к крупным и малым артезианским бассейнам, реже – к склонам гидрогеологических массивов [25].

Выделенные крупные регионы подразделяются в зависимости от гидрогеологических условий на области и районы 1) вероятного развития древнего карста, где карстующиеся породы залегают в зонах затрудненного и застойного водного режима и перекрыты некарстующимися отложениями; 2) активного современного карста, где карстующиеся породы залегают на земной поверхности или неглубоко от нее в зоне активного водообмена. Галогенные отложения выходят на поверхность обычно в краевых частях артезианских бассейнов, где отмечается активный современный карст. Карстовые области соответствуют артезианским бассейнам или склонам гидрогеологических массивов [136].

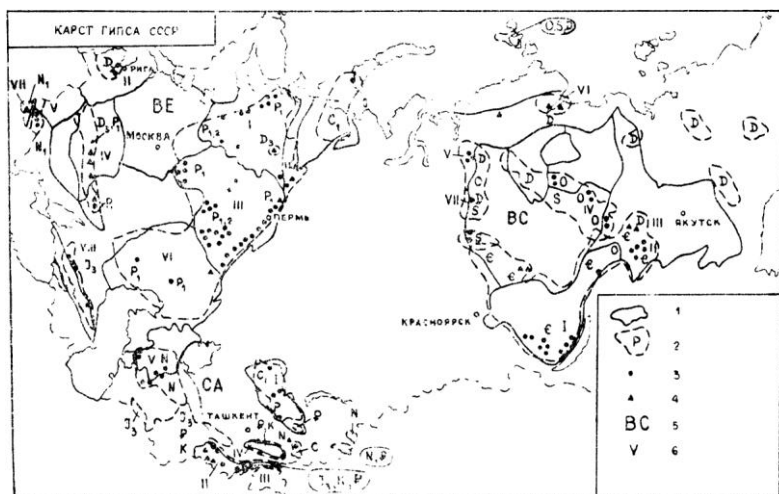


Рис. 8. Карст галогенных отложений на территории СССР:

1 – границы артезианских бассейнов и гидрогеологических массивов, 2 – границы распространения галогенных формаций, 3 – гипсовый и гипсово-карбонатный карст, 4 – соляной и гипсово-соляной карст, 5 – регионы, 6 – области

Восточноевропейский регион – ВЕ занимает Русскую платформу и прилегающие территории (рис. 8). Здесь намечается несколько карстовых областей, соответствующих артезианским бассейнам: I – Северодвинская гипсового карста нижнепермских отложений, II – Прибалтийская гипсового карста верхнедевонских отложений, III – Волго-Камская гипсового, карбонатно-гипсового и соляного карста нижнепермских и в меньшей степени верхнепермских отложений, IV – Днепровско-Донецкая соляного и гипсового карста нижнепермских и девонских отложений, V – Приднестровская гипсового карста неогеновых отложений, VI – Прикаспийская гипсового и соляного карста нижнепермских отложений, VII – Закарпатская соляного карста неогеновых отложений.

Северокавказская – VIII область гипсового карста верхнеюрских отложений и Притиманская – IX область гипсового карста нижне- пермских отложений расположены на склонах гидрогеологических массивов (Складчатых областей).

Карст Восточноевропейского региона на больших площадях проявляется в условиях умеренно-влажного климата.

Восточносибирский регион – ВС занимает Сибирскую платформу и ее обрамление. В данном регионе выделяются следующие области развития сульфатного и соляного карста: I – Ангара-Ленская гипсового карста кембрийских отложений, II – Среднеленская гипсового и соляного карста преимущественно кембрийских отложений, III – Кемпендяйская соляного карста девонских и кембрийских отложений, IV – Вилуйско-Котуйская гипсового и соляного карста преимущественно ордовикских и силурийских, в меньшей степени кембрийских и девонских отложений, V – Норильская гипсового карста девонских и верхнесилурийских отложений, VI – Хатангская карста соляных куполов девонских отложений, VII – Нижнетунгусская вероятного развития гипсового карста девонских и силурийских отложений. Наименее изучен карст Таймырской и Верхояно-Колымской складчатых областей, Северной Земли, бассейна р. Оленек.

Гипсовый и соляной карст Восточносибирского региона на огромных площадях проявляется в условиях развития многолетней мерзлоты.

Среднеазиатский регион – СА подразделяется на несколько областей, совпадающих с артезианскими бассейнами плит, межгорных депрессий, предгорных прогибов или со склонами гидрогеологических массивов: I – Чуйская гипсового карста в отложениях преимущественно нижнего карбона, II – Южнотаджикская соляного и гипсового карста верхнеюрских, меловых и палеогеновых отложений, III – Памиро-Алайская гипсового карста верхнеюрских и меловых отложений, IV – Ферганская гипсового и соляного карста палеогеновых и неогеновых отложений, V – Устюртская гипсово-карбонатного карста неогеновых отложений. Карст Среднеазиатского региона развивается на больших площадях в условиях аридного климата. Встречается высокогорный сульфатный карст.

Помимо перечисленных карстовых областей выделяются карстовые районы на участках локального развития галогенных отложений. Большой интерес представляют области развития древнего карста, а также древний карст в пределах выделенных областей и районов.

Краткая история изучения карста галогенных формаций на территории СССР освещена автором ранее [31].

Более подробно рассмотрим карст *Восточноевропейского региона*

Северодвинская область гипсового карста

Наиболее полно изучена северо-западная часть области, соответствующая Пинего-Северодвинской карстовой области [83, 84], району 4 – Западное и северо-западное крыло Московской синеклизы [109], Московско-Двинской карстовой области [22]. Д. Н. Сабуров [110], учитывая различия климата и рельефа этой территории, выделяет четыре карстовых района или ландшафта (табл. 3).

Публикации, содержащие сведения о гипсах и карсте Северодвинской области, относятся к дореволюционному периоду. Карст описывается в связи с геологическими изысканиями и поисками гипсов. Физико-географические и гидрологические особенности гипсового карста освещены в монографии Н. П. Торсуева [122] и ряде статей [121–126, 70, 130]. Инженерно-геологические исследования карста проводились Н. М. Кухаревым [75, 76]. Большой вклад в изучение пещер внесли члены Ленинградской секции спелеологии [60, 106] и московские карстоведы [130]. Менее изучены Сухонский район и район Сереговского соляного купола [46].

1. Онего-Северодвинский район. На Онего-Северодвинском междуречье закарстованы гипсы и ангидриты кулойской свиты нижней перми. Полоса гипсов протянулась с ю.-з. на с.-в. из бассейна р. Моши в бассейн средней Мехреньги и далее долину С. Двины в окрестностях с. Звоз. В разрезе преобладают гипсы и ангидриты при ничтожном участии доломитов и известняков.

Четвертичные ледниковые и флювиогляциальные песчано-глинистые валунные и в меньшей степени морские бореальные отложения имеют мощность от одного до десятков метров. Значительная мощность их отмечается в доледниковых карстовых воронках. Современный карст интенсивен только на участках распространения флювиогляциальных отложений, мощность которых уменьшается вблизи долин.

В районе ст. Нядома в гипсово-ангидритовой толще нижней перми на глубине 62,7 м вскрыт водоносный горизонт с минерализацией 3–4 г/л.

Наиболее активный сульфатный карст проявляется в бассейне Мехреньги на междуречье Шорды и Нельюги площадью 120 км², где гипсы повсеместно выходят на поверхность, а также на водораздельном пространстве рек Пироксы и Лыжки площадью 500 км² [121, 122]. На участках распространения озовых, камовых и зандровых отложений встречаются суффозионно-карстовые воронки. По данным 375 замеров средний поперечник их 8 м, минимальный 0,5 м, максимальный 72 м, глубина изменяется от долей метра до 18 м при средней 4,3 м. Площадной коэффициент закарстованности в бассейне Мехреньги составляет 16–57 % [121]. Намечается зависимость между степенью закарстованности и мощностью флювиогляциальных образований. Скважинами вскрыты погребенные

Т а б л и ц а 3

Районирование Пинего-Северодвинской карстовой области [110]

| Карстовые районы | Площадь, тыс. км ² | Закарстованность, % | Климатич. подзона | Рельеф | Покровные отложения | Формы поверхн. карста | Число пещер | Протяженность ходов пещер, км | Пещерный район | Плотность пещер на 1000 км | Густота пещер на 1000 км |
|------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------|---------|----------------------|--|-------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Соткинский | 0,8 | 65 | северотаяжная | Плато | Суглинки, алевролиты | Задери, карст, суф.-просад. воронки; суф.-провальн. котловины, лога, провалы | 71 | 14,1 | Соткинский Голубинский | 135 | 26600 |
| Верхнекуло-йский | 2,5 | 15 | | Равнина | Пески | Воронки просасывания | 15 | 3,2 | Кулогорский | 40 | 8500 |
| Сия-Гбачин-ский | 1,4 | 35 | | | Суглинки, алевролиты | Задери, карст, суф. просадки, воронки, редкие котловины, карст, лога | 34 | 9,5 | Березниковск-ий Сия-Гбачинск-ий | 70 | 19000 |
| Звозский | 0,7 | 80 | средне-таяжная | | Суглинки | | 14 | 2,1 | Звозский | 65 | 10000 |

карстовые формы. Одна из них, вытянутая в плане (1,25×0,5 км), имеет глубину 12 м, другая (1,3×0,3 км) – 14 м [70]. На ряде участков Мехреньги и ее притоков (руч. Ломоватый) отсутствует ледовый покров. Наиболее интенсивно карст проявляется до глубины 18–20 м. Минерализация подземных вод до 2 г/л, речных до 1,4 г/л.

На Звозском участке в среднем течении Сев. Двины описаны воронки, котловины, колодцы, овраги, эрозионно-карстовые долины, эрозионно-карстовые депрессии. На левобережье коэффициент закарстованности составляет, по данным В. Н. Пискунова, 11,2 %. Здесь в гипсо-доломитовой свите в 10 м от реки скважиной вскрыты полости в интервале 8,85–14,65 м. Полости высотой 3,3–3,7 м обнаружены в других скважинах. В гипсовых обрывах по берегам р. Сев. Двины исследовано 14 пещер общей протяженностью 2,1 км [106].

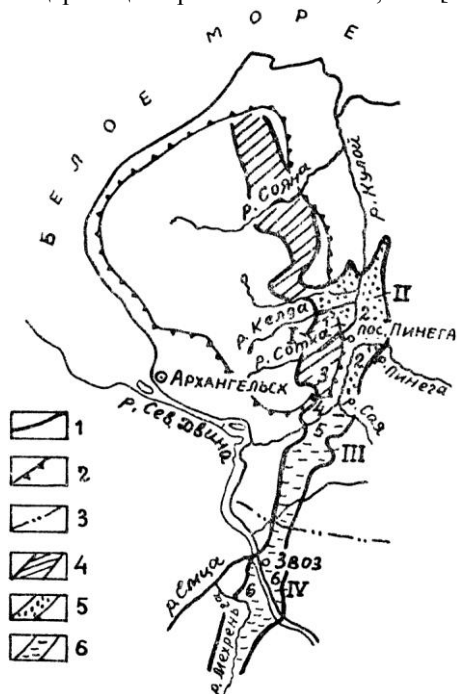


Рис. 9. Пинега-Северодвинская карстовая область [106, стр. 10]: 1 – граница распространения гипсов и ангидридов верхнекулойской свиты нижней перми; 2 – Беломорско-Кулойский уступ; 3 – граница северотаежной и среднетаежной подзон; 4 – плато, сложенное гипсами, перекрытыми алевролитами и суглинками; 5 – равнина, сложенная песками, подстилаемыми гипсами; 6 – равнина, сложенная суглинками, подстилаемыми гипсами. Ландшафты: I – Соткинский, II – Кулогорский, III – Сия-Гбачинский, IV – Звозский. Пещерные районы: Соткинский, 2 – Кулогорский, 3 – Голубинский, 4 – Березниковский, 5 – Сия-Гбачинский, 6 – Звозский

2. Двинско-Мезеньский район. В пределах Двинско-Мезеньского междуречья Д. Н. Сабуров [110] выделяет три типа карстовых ландшафтов: Соткинский в ю.-в. части Беломорско-Кулойского плато, Верхнекулойский в пределах древнеаллювиальной равнины и Сия-Гбачинский, представляющий равнину с покровными суглинками (рис. 9).

Детальные исследования гипсового карста Двинско-Мезеньского междуречья в пределах Беломорско-Кулойской возвышенности проведены Н. М. Кухаревым [75]. Наиболее закарстованы нижнепермские гипсово-доломитовые отложения, распространенные по р. Пинеге к северу и югу от с. Кузомени. Ширина закарстованной полосы в районе г. Пинега достигает 70 км. Севернее, в тундровой зоне, она не превышает 40 км.

Карст описан по склонам долин рек Коптяковки, Рома и Шочи и в районе Койдозера, южный берег которого сложен толщей гипсов. Карстовые поля встречаются на междуречье Коптяковки – Подозерки, в районе Першииских озер и по р. Березовке. Воронки в гипсах имеют глубину до 30 м, диаметр до 100 м и более. В них обнаружены водопоглощающие поноры. Древние заболоченные воронки осложняются молодыми.

Поверхностные формы «открытого» карста представлены карровыми полями, вертикальными каналами, колодцами, шахтами, воронками, слепыми оврагами. Главными условиями образования карров являются обилие влаги, однородность состава пород, преимущественно гипсов, и отсутствие покровных пород над карстующимися породами [75]. Отмечаются карры двух типов: трещинные и холмистые. Трещинные карровые поля – это участки, расчлененные вертикальными клинообразными трещинами на прямоугольные блоки со стороной 2–5 м. Глубина трещин от 1,2 до 2 м. Холмистые карры – это выступы с конической, слегка сглаженной, вершиной высотой 1–2 м, реже 5 м.

Вертикальные и наклонные каналы в гипсах имеют диаметр от 0,5 до 1 м, а колодцы от 2 до 3 м при глубине до 5 м. Встречаются также провалы диаметром до 20 м и глубиной 8–10 м, на дне которых лежат крупные глыбы гипса. Воронки диаметром 5–20 м и глубиной 2–8 м располагаются чаще в слепых оврагах. Слепые овраги длиной до 100 м врезаны в гипсово-доломитовую толщу на глубину 5–10 м. Склоны их обычно неровные, кое-где задернованы или залесены. Местами на дне их встречаются останцы высотой до 3 м.

По участкам голого карста протекают руч. Позера и Пустозерский, обрывистые склоны долин которых имеют высоту до 20 м. Гипсы на склонах сильно разрушены, разбиты трещинами. Глыбы гипсов покрывают подошвы склонов.

Покрытый карст, где карстующиеся породы покрыты четвертичными отложениями, занимает 65 % всей закарстованной площади. Наиболее закарстованы участки с мощностью покровных отложений 1–6 м. Здесь наблюдаются многочисленные воронки и озера. Конусообразные воронки диаметром 5–20 м (реже до 30 м) и глубиной 2–8 м (реже до 12 м) то почти сливаются, то располагаются на расстоянии 10–50 м. Крутые склоны их часто имеют выходы гипсов, а дно – поглощающие поноры. Часть из них заполнена водой. Карстовые озера занимают площадь от нескольких десятков

квадратных метров до нескольких га и имеют глубину 2–5 м; на берегах их обнажаются гипсы в виде останцов высотой до 3–5 м. При мощности покровных отложений 5–10 м встречаются участки с овражно-балочным рельефом. Овраги длиной 200–300 м врезаются в четвертичные отложения и карстующиеся породы на глубину 5–15 м. К югу и северу от оз. Сенного, где мощность четвертичных отложений 12–15 м, много карстовых озер глубиной 3–5 м.

Геофизические исследования показали, что гипсо-доломитовая толща наиболее интенсивно закарстована до глубины 10–12 м, а местами 25–30 м.

На Двинско-Мезеньском междуречье описано свыше 130 пещер общей протяженностью более 35 км, среди них крупнейшие: Конституционная – 5 км, Ленинградская – 3,4 км, Северянка – 2,3 км, Сотка (26)–2 км, Пинежская им. А. Терещенко – 2,3 км [60].

В бассейнах рек Ежмы и Чароксы на Кулойском склоне Кулойско-Немнюгского междуречья, где загипсованные алевролиты, мергели и песчаники уфимского яруса мощностью 30–40 м подстилаются гипсами и ангидритами кунгурского и артинского ярусов, встречаются провалы и карстовые овраги [125]. Вблизи оз. Лачь-озера находится десяток воронок диаметром 30–50 м и глубиной 8–10 м. Весной 1965 г. здесь образовалась воронка диаметром 45 м, глубиной до воды 20 м.

3. Сухонский район. Закарстованы гипсово-доломитовые отложения верхней части казанского яруса мощностью 8–35 м, перекрытые татарским ярусом [109]. Карстовые формы представлены воронками диаметром 30–40 м, глубиной 10 м. Большая воронка возникла на месте провала 1920 г. у д. Алифаново, диаметр ее 140 м и глубина 50 м. В долине р. Сухонь есть много карстовых озер. Между д. Заболотье и пос. Монастырск наблюдаются ископаемые воронки. В пойме р. Сухоны воронки имеются у д. Побойщной. Обнаружены здесь и подземные формы карста. Скважины вскрыли пористые и кавернозные сульфатные породы кулойской свиты. В северной части района карст приурочен к поднятию на р. Сутеньге.

Прибалтийская область гипсового карста

В этой области закарстованы сульфатно-карбонатные отложения верхнего девона, представленные доломитами, мергелями и гипсами с прослоями глин и песков. Гипсы встречаются в двух гипсоносно-глинистых пачках мощностью до 10–13 м. Гипс залегает слоями и линзами среди глин до глубины около 40 м. Гипсоносные пачки разделены 4–5-метровой толщей загипсованных глин и доломитов. Трещиноватость пород, обилие атмосферных осадков, интенсивное тектоническое поднятие местности и глубокий

эрозионный врез (до 40 м и более) создают благоприятные условия для развития карста. Развитию карста препятствует наличие мощных ледниковых отложений. Активный карст проявляется на участках, где мощность покровных отложений менее 20–25 м.

Гипсовый карст северной части Литовской ССР (Биржай, Пасвалис) и прилегающих частей Латвийской ССР изучался в связи с геологическими исследованиями [34], поисками месторождений гипса [95], сероводородных вод, инженерно-геологическими изысканиями. Интересны работы по районированию карста с картами, составленными М. Гомулицасом и В. Пранайтисом [55], по гидрологии [114], специальные работы по гипсовому карсту [96, 115], научно-популярные издания [137].

В северной части Литвы выделяется один карстовый район – Биржайский (118 км²) и несколько участков: у г. Пасвалис (34 км²), у деревень Тиленава и Лапакрита и г. Новый Радвилишкис (от 2 до 7 км²).

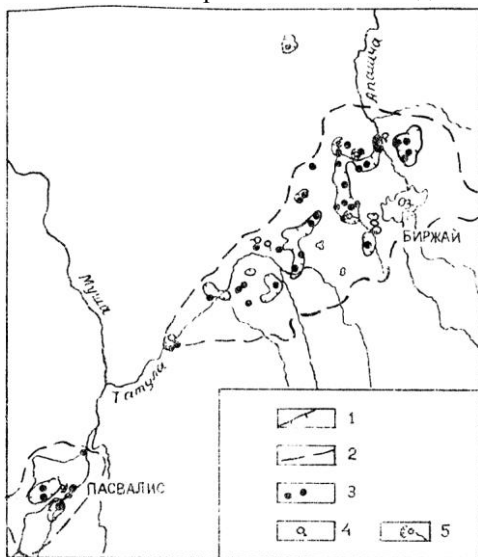


Рис. 10. Карст на северо-востоке Литовской ССР по данным М. Гомулицаса и В. Пранайтиса. Границы участков с преобладанием: 1 – воронкообразных провалов, 2 – заиленных блюдцеобразных воронок, 3 – свежие провалы, 4 – воронки в устьях восходящих источников, 5 – исчезающие реки [55]

Поверхностные формы карста представлены воронками и озерами, реже понорами (рис. 10). Провальные воронки имеют округлую форму диаметром 5–30 м, глубиной 5–10 м. Воронки диаметром 30–40 м и глубиной до 10–15 м с крутыми обнаженными склонами приурочены к выходам гипса в Биржайском районе. В окрестностях д. Тиленава диаметр воронок достигает 50 м, а глубина – до 20 м, причем на дне отмечаются действующие поноры. Поноры диаметром 2–3 м глубиной до 1,5 м зафиксированы в Биржайском районе. Карстовые блюдца чаще всего заболочены, диаметр

их 20–60 м, глубина 2–3 м. Общее количество карстовых форм 4000, для площади 160 км² (плотность воронок 25 на 1 км². У д. Киркилай коэффициент закарстованности достигает 50 %.

При закупоривании понор воронки превращаются в «подвешенные» озера. Обводненные воронки встречаются на всех участках. Молодые карстовые озера Скайстис, Даубужис, Лубинскас, Рипейкяй и Киркилай имеют несколько сот метров в длину, несколько десятков метров в ширину и глубину порядка 10 м. Старые мелкие озера заболочены, глубина их 3–5 м, площадь до 5–10 га. Минерализация воды в озерах 50–200 мг/л [114]. Густота речной сети на закарстованных участках колеблется от 0,25 до 0,30 км/км², что ниже средней для Литвы, модуль стока составляет 7 л/сек с 1 км². Интересен руч. Пожемис (Подземный) протяженностью 10 км, начинающийся вне карстового района. Он течет 4 км по закарстованной поверхности и исчезает в конце слепого лога в гроте Швейнтойи – Скиле. В 0,5 км западнее места исчезновения в воронке вытекает источник Смардоне (Вонючка), дающий начало одноименной реке – притоку р. Татула.

Грунтовые воды залегают на глубине 0,5–15 м в флювиогляциальных отложениях. Напорные карстовые воды верхнедевонских отложений (2–3 горизонта) вскрыты на глубине от 8 до 70 м. Верхний горизонт в гипсовых слоях на глубине 8–35 м имеет дебит 4–8 л/сек, он наиболее минерализован и питает большинство источников.

В Биржайском районе и в окрестностях г. Пасвалис многочисленны выходы родников в долинах рек, в оз. Ширвино, в воронках.

В местах выхода ключей реки не замерзают. У дер. Друсейкяйв воронке диаметром 3 м выходит источник с расходом 0,034 м³/сек, выпадающий в р. Апашья. Часть воды поглощается карстовой трещиной. Минеральные источники вытекают вблизи деревень Ликенай и Пабирже, где создан минерально-грязевый курорт.

Воды восходящих источников и подземные воды гипсов имеют сульфатный состав и минерализацию 1,0–2,3 г/л [114]. Минерализованы и воды низовьев рек, дренирующих карстовые воды (р. Муша с минерализацией 300–1200 мг/л).

Современный карст в гипсах верхнего девона отмечен у курорта **Балдоне, в береговой полосе р. Даугавы и на других участках Латвийской ССР**. В 25 км от Риги на железнодорожной линии в 1950–1952 гг. происходили провалы [109]. На побережье Рижского залива воронки встречаются южнее курорта Кемери, где сероводородные воды выходят в виде источников и вскрываются скважинами на глубинах от 1 до 40 м в гипсовых отложениях сала-спилской свиты девона. Основную роль в формировании минеральных вод играют биохимические процессы восстановления сульфатов при наличии углерода, источником которого являются торфяники.

Волго-Камская область гипсового, карбонатно-гипсового и соляного карста

Современный и древний карст в пермских отложениях приурочен к Волго-Уральской антеклизе, сводам, валам и локальным поднятиям восточной приуральской части Русской платформы и Предуральского краевого прогиба.

На территории Среднего Поволжья, в пределах Волго-Уральской антеклизы, расположено несколько карстовых районов, совпадающих со структурами меньших порядков. Районирование карста Алатырско – Горьковских поднятий осуществлено А. Н. Ильиным [51], А. В. Ступишиным [117], инженерно-геологическое районирование района г. Дзержинска – И. А. Сашаренским [111]. Детальные исследования карста начаты в дореволюционный период и интенсивно продолжаются в советское время. Большой вклад в изучение гипсового карста внесли сотрудники Дзержинской карстовой станции, решающие важные практические вопросы. Изданы две монографии о карсте района г. Дзержинска [14, 52]. Карст в пределах Вятско-Казанских, Соко-Жигулевских поднятий и Татарского свода описан в трудах казанских геологов и географов [54, 112, 117, 77, 93]. Обширный материал по карсту обобщен в монографии А. В. Ступишина [118].

В приуральской части Волго-Камской карстовой области, на территории Пермской области, Башкирии и Оренбургской области намечается, по данным разных авторов, до 22 карстовых районов. В 1956 г. составлена карта карста Пермской области, на которой выделено 8 районов сульфатного и один район соляного карста [26]. В дальнейшем она была использована в ряде работ [87–90, 109, 71]. Детальные географические исследования сульфатного карста центральной части Пермской области выполнены К. Г. Бутыриной [7–9]. Успешно разрабатываются вопросы гидрогеологии [132, 27, 28, 50], гидрохимии и гидрологии, морфология и инженерной геологии [78, 79, 102, 103, 105] карста. В 1972 г. Кунгурский стационар УНЦ АН СССР провел совещание по методике инженерно-геологических исследований в районах сульфатного карста [15].

Продолжается изучение соляного карста [62, 5]. Большое внимание уделяется исследованию пещер сульфатного карста и разработке вопросов спелеологического районирования [101]. Всесторонне освещается Кунгурская пещера [38]. Районирование карста разрабатывается для всей Приуральской части [89].

Южнее, в Башкирии и Оренбургской области, районирование сульфатного карста производится с геологических [12, 80], физико-географических [73, 74], гидрогеологических и инженерно-геологических [91, 92] позиций. Ведется детальное изучение карста отдельных районов [107, 93], разрабатывается методика его инженерно-геологической

оценки [13]. На совещании по карсту Башкирии многие вопросы касались гипсового карста [58].

На территории Алатырско-Горьковских поднятий А. Н. Ильин [51] и А. В. Ступишин [118] выделяют несколько районов с карстом нижнепермских гипсов и ангидритов, перекрытых карбонатными и терригенными верхнепермскими и рыхлыми четвертичными отложениями (рис. 11, I).

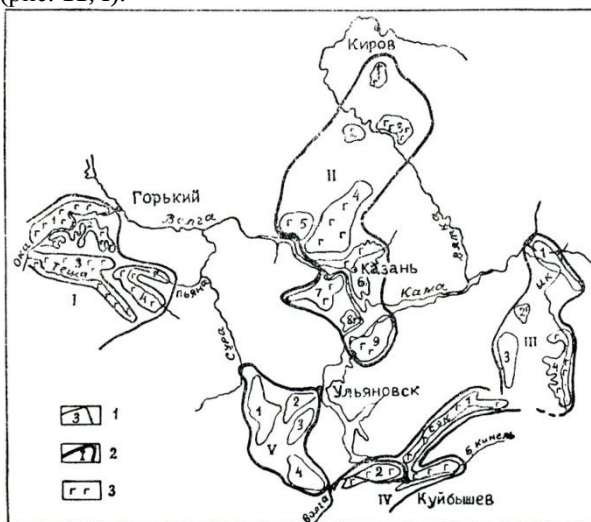


Рис. 11. Карст Среднего Поволжья по А. В. Ступишину [118]: 1 – карстовые районы, 2 – карстовые области, 3 – гипсовый и карбонатно-гипсовый карст

Доломиты с прослоями гипсов и ангидритов сакмарского яруса имеют мощность около 20 м. Артинский и низы кунгурского ярусов мощностью до 65 м представлены гипсами и ангидритами, верхняя граница которых выражена отчетливо вследствие предказанского размыва. Нижний подъярус казанского яруса мощностью 15–25 м состоит из известняков и доломитов, которые на приподнятых участках сильно трещиноваты, разрушены, содержат включения доломитовой муки и щебенки. На размытой поверхности казанских или нижнепермских пород залегает толща алевролитов, песчаников, глин, аргиллитов с прослоями доломитов и песков татарского яруса. Участками встречаются юрские и нижнемеловые отложения. Мощность четвертичных моренных, флювиогляциальных и аллювиальных отложений местами достигает 80 м.

Общее моноклинальное падение палеозойских отложений на север осложняется локальными поднятиями. Подземный сток направлен соответственно общему падению пород с юга на север. Подземные воды в гипсо-ангидритовой толще нижней перми приурочены к ее верхней закарстованной части, образуя часто единый трещинно-карстовый горизонт с водами трещиноватых казанских известняков и доломитов.

По левобережью Волги на периклинальном окончании Алатырско-Горьковских поднятий в северной части Балахнинской низменности, где карстующиеся породы погружены ниже базиса эрозии, встречаются единичные впадины, возникшие, вероятно, за счет растворения линз гипса в татарских отложениях [51].

Южнее р. Волги, в бассейнах рек Оки и Пьяны, находятся четыре карстовых района (рис. 11, I, 1–4).

1. **Левобережный нижеокский Дзержинский район** [118], или район долины Оки и приустьевой части Клязьмы [51]. Активный карст наблюдается на территории г. Дзержинска в осевой зоне Алатырско-Горьковских поднятий, на участках разгрузки трещинно-карстовых вод. Карст проявляется в гипсо-ангидритовой артинско-кунгурской толще, залегающей ниже уровня р. Оки и перекрытой казанскими и татарскими, иногда только татарскими породами или аллювием. Карстовые процессы распространяются на глубину до 30 м ниже базиса эрозии. Из 300 км² обследованной площади 10–20 % занимают карстовые поля. Наибольшая плотность в черте города составляет 93 в/км², а в окрестностях – 261 в/км² [52].

2. **Правобережный нижеокский район**, или район междуречья Оки и Сережи. На участках структурных поднятий реки Большая Кутра, Кузрома, Кишма, Кудьма, Черная и их притоки прорезают толщу татарских пестроцветов, углубляясь в породы казанского яруса, а в отдельных пунктах и в нижнепермские гипсы – ангидриты. Карст проявляется в долинах рек и не затрагивает водоразделы.

В районе встречаются исчезающие реки, эрозионно-карстовые котловины и депрессии. К долине р. Кишмы восточнее г. Ворсма примыкает обширная (до 25 км²) депрессия глубиной до 40 м. В ней расположены озера Тосканка и Ключик, а на склоне отмечается множество воронок диаметром 40 м и более, глубиной до 20 м. В оз. Ключик разгружаются сульфатные воды с минерализацией около 2,5 г/л. Выходы карстовых вод наблюдаются и на других участках.

3. **Теше-Сережинский район**, или район древней эрозионной ложбины, по которой протекают реки Сережа и Теша. Древней эрозией вскрыты казанские, а на тектонических поднятиях и артинские гипсо-ангидритовые отложения. Много озер. Река Сережа у с. Старая Пустынь течет через крупные карстовые озера Великое, Глубокое, Паровое и др. Самое большое из них имеет площадь 75 га. С ними соединяется оз. Святое, глубиной более 12 м, окруженное воронками. По берегам озера в казанских известняках наблюдаются трещины отседания глубиной до 4 м, по которым происходит утечка воды, достигающая 5–10 млн. м³ в месяц. Особенно много озер на поднятиях. Характерны провалы, которые при большой мощности покровных отложений отличаются огромными размерами. Провал, возникший в 1957 г. у д. Венец, имел диаметр около 90 м и глубину 27 м. Для воронок отмечается повышенная

плотность на структурно-приподнятых участках и концентрация в местах сочленения надпойменных террас и коренного берега. Пещеры встречаются на правобережье Теши на месторождениях гипса.

4. Пьянский карстовый район, или район долины Пьяны и ее притоков. Карст проявляется в пределах эрозионных врезов на участках поднятий. Характерно разнообразие форм: воронок, карстовых оврагов, слепых долин. Интересны озера Вадское на р. Вад, Сосновское у р. Умайки и другие. На дне некоторых из них выходят источники – воклины. У с. Борнуково описаны пещеры в артинских гипсах и ангидритах, которые отличаются разнообразием цвета минералов и пород [53].

В пределах Вятского вала и Казанских структурных поднятий А. В. Ступишин выделяет 8 районов гипсового и карбонатно-гипсового карста (рис. 11, II, 1, 3–9). Здесь закарстованы известняки, доломиты и гипсы казанского и кунгурского ярусов.

1. Ивкинский район приурочен к одноименному поднятию, сложенному известняково-гипсовой толщей верхнеказанского подъяруса. У с. Угор в выработках гипса вскрыты полости, заполненные продуктами обрушения. В долине р. Ивкина выходят минеральные «серные» источники, которые используются в лечебных целях.

3. Медведокский район расположен в центральной части антиклинального поднятия на территории низменного песчаного полесья. Глубокое оз. Медведок представляет цепь провалов, в склонах которых под аллювиальными песками выходят доломиты, а ниже залегают гипсы казанского яруса. Для провалов характерно линейное расположение.

4. Илетский район расположен в южной части Вятского вала. Интенсивное развитие карста связано с зоной меридиональных поднятий, где на поверхность выходят карбонатные породы казанского яруса. В пределах глубоких врезов рек Волги, Илети и низовьев ее притоков закарстованы гипсы нижней перми, о чем свидетельствуют свежие провалы и глубокие карстовые озера (Яльчик, Глухое, Конондер и др.).

5. Кокшагский район расположен в бассейне Б. и М. Кокшаги в пределах низменной заболоченной песчаной равнины. Песчаные толщи залегают на размытой поверхности известняков, доломитов и гипсов. Характерны глубокие провалы и озера.

6. Казанский район расположен по левобережью р. Волги и расчленен р. Казанкой. «Озерный» карст является следствием выщелачивания нижнепермских гипсов, а сухие впадины на склонах озерных котловин и эрозионных форм – известняков и доломитов. В зоне древнего размыва в долине Волги и в низовьях р. Казанки вскрыты нижнепермские гипсы.

7. Свияжский район характеризуется карстом казанских доломитов и известняков. На правобережье р. Сулицы, левого притока

Свияги, за счет выщелачивания гипса в татарских отложениях образовались карстовые озера.

8. Приволжский район карста карбонатно-гипсовых отложений (мощность пластов гипса до 7 м и более), вскрытых эрозией. Имеются свежие провалы. При разработке гипса обнаружены пещеры.

9. Прикамский район расположен на левобережье р. Камы при впадении ее в Волгу. Наряду с карбонатным здесь проявляется карст в линзах гипса казанского яруса.

В пределах Татарского свода А. В. Ступишин [118] выделяет два района карбонатно-гипсового и гипсового карста (рис. 11, III, 2, 4).

2. Мензеля-Рангазарский район, где карстуются гипсы (мощностью до 15 м), залегающие в нижнеказанской карбонатной толще.

4. Икский район интенсивного карста в кунгурских гипсах, слагающих с.-з. крыло Туймазинской структуры. По правобережью р. Ик много воронок, котловин, встречаются пещеры. На левобережье и по долинам левобережных притоков наряду с воронками и провалами описаны небольшие, но глубокие озера.

В пределах Соко-Жигулевских структурных поднятий находятся два района (рис. 11, IV, 1, 2).

1. Соко-Самарский район. Воронки, котловины и другие формы в бассейнах рек Сок, Самара и Чапаевка связаны с растворением гипсов верхнеказанского подъяруса мощностью до 20 м, слагающих локальные поднятия. На правобережье р. Чапаевки встречаются воронки диаметром до 60–100 м и более и глубиной до 10–15 м, карстовые лога с поглощающими воронками и понорами [109].

2. Жигулевский район (Самарская Лука) интенсивного известняково-доломитового и гипсового карста в пермских отложениях. Воронки образуются в местах, где гипсосодержащие породы залегают неглубоко. Широко распространены карстовые брекчии.

Восточная часть Волго-Камской карстовой области представляет восточную окраину Русской платформы, которая ранее была выделена как Приуральская карстовая провинция [88], и Предуральский прогиб (Предуральская карстовая провинция). Карстовые районы восточной окраины Русской платформы расположены в пределах Пермского и Башкирского сводов, Бирской седловины и некоторых валов, а также ю.-в. склона платформы. Общая площадь их 37500 км² [90]. Здесь закарстованы гипсы и ангидриты кунгурского яруса, в меньшей степени переслаивающиеся с ними известняки и доломиты, а также гипсы и известняки казанского яруса и карбонатные отложения Соликамской свиты уфимского яруса.

В платформенной части Пермской области К. А. Горбуновой [87] выделены три района (рис. 12–1, 2, 3).

1. Полазнинско-Шалашнинский район. Наиболее закарстованы гипсы и ангидриты иренской свиты кунгурского яруса, на значительной площади перекрытые карбонатными и терригенными отложениями Соликамской свиты. К. Г. Бутырина [9] выделяет здесь 7 карстовых участков и 20 полей. Более 90 % всех поверхностных форм составляют воронки, плотность которых на территории пос. Полазна достигает 1072 на 1 км². На Полазнинском полуострове, площадь которого 50 км², зафиксировано более 5000 воронок [105]. В районе часто отмечаются провалы, активизация которых наблюдалась после создания Камского водохранилища [102]. Встречаются котловины, карстовые лога, рвы, депрессии, исчезающие реки, озера. Широко распространены карстовые брекчии. На берегах Камского водохранилища создаются особые условия развития карста.

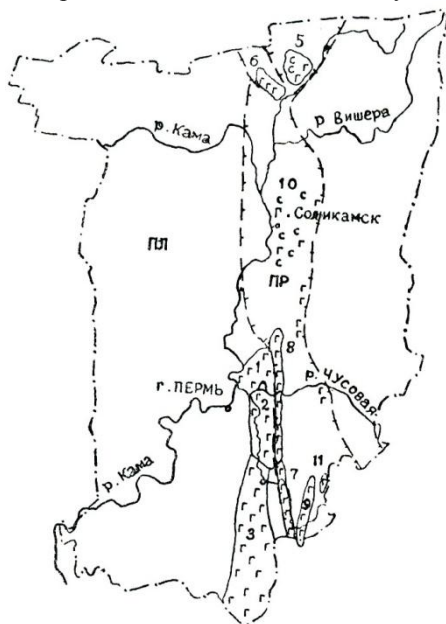


Рис. 12. Гипсовый и соляной карст Пермской области по К. А. Горбуновой [87]: ПЛ – восточная окраина Русской платформы, ПР – Предуральский прогиб

2. Сылвинско-Сергинский район расположен на северном погружении Уфимского вала. Площадь его 1700 км². Здесь закарстованы гипсо-ангидритовые и частично известняково-доломитовые отложения иренской свиты, перекрытые терригенными и карбонатными породами Соликамской свиты и четвертичными отложениями. Наиболее интенсивно карст развит в долине р. Сылвы. По правобережью ее протягиваются карстово-эрозионные лога с исчезающими водотоками.

В ю.-з. части района на площади 320 км² описано 2980 воронок, сгруппированных в 24 поля с плотностью 16—110 в/км². В с.-в.

части зафиксировано 123 воронки в трех полях. Карстовые воды имеют минерализацию 1–3 г/л и сульфатно-кальциевый состав [50]. Встречаются котловины и рвы. В толще пород описаны карстовые нарушения: одиночные и ступенчатые сбросы, чашеобразные синклинали, куполовидные складки. Часто встречаются пещеры, среди них Зуятская – 900 м, Кичменская – 460 м, Мечкинская 1-я – 350 м [101].

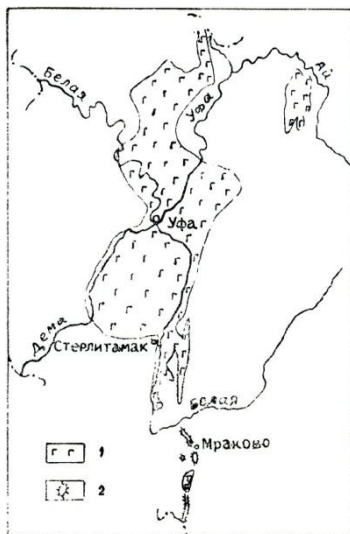


Рис. 13. Гипсовый карст на территории Башкирии по В. И. Мартину [91]: 1 – сульфатный, сульфатный перекрытый и закрытый карст; 2 – карст гипсовых куполов (схематизировано)

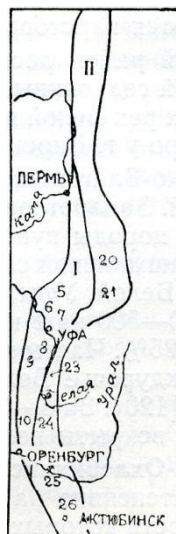


Рис. 14. Районы гипсового и гипсово-соляного карста Приуралья по Г. А. Максимовичу и В. П. Костареву [90]: 1 – восточная окраина Русской платформы, II – Предуральский прогиб

3. Кунгурско-Иренский район расположен на западном крыле Уфимского вала в бассейне р. Ирени. Площадь его 5700 км². Он отличается интенсивным карстом в гипсо-ангидритовых и частично карбонатных отложениях иренской свиты. Плотность воронок до 200, реже 500 на 1 км². Наблюдаются рвы, котловины, депрессии, озера, исчезающие реки (Тураевка, Малый Телес, Аспа), карстовые источники, поноры, изредка карры. Здесь расположена Кунгурская ледяная пещера протяженностью 5,6 км.

Гипсовый карст широко распространен южнее, на территории

Башкирии (рис. 13). В платформенной части ее Г. А. Максимович и В. П. Костарев [90], исходя из данных ряда авторов [12, 74, 80], выделяют несколько карстовых районов (рис. 14).

5. **Щучьеозерско-Аскинский район** находится на западном и юго-западном склонах Башкирского свода. Мощность гипсо-ангидритовых отложений кунгура достигает 200 м и более. Карстово-эрозионные лога, суходолы, цепочки воронок и озер приурочены к трещинным зонам. Характерны небольшие исчезающие реки, в долинах рек встречаются карстовые источники с дебитом более 10 л/сек.

6. **Бирский район** расположен в пределах вала в центральной части Бирской седловины. Карстуются кунгурские гипсы и ангидриты. В долинах рек Белой и Бири выходят восходящие источники. Источник – озеро у г. Бирска имеет расход 175 л/сек [82].

7. **Уфимско-Благовещенский район** приурочен к группе локальных поднятий. Закарстованы гипсы и ангидриты, в меньшей степени карбонатные породы кунгурского яруса, а также известняки соликамской и шешминской свит уфимского яруса. Карст проявляется в долинах рек Белой, Уфы, Демы и их притоков. Плотность воронок достигает 300–500 на 1 км², площадной коэффициент закарстованности – 20–25 %. Часты провалы. На Уфимском полуострове, занимающем междуречье Белой и Уфы, площадью 262 км², описаны 452 воронки [120]. За 5–6 лет здесь возникло 40 провалов. Под руслом р. Белой вскрыты полости с вертикальным размером до 8 м [82].

8. **Рязано-Охлебининский район** приурочен к одноименному валу. Карст интенсивно развит в гипсах и ангидритах кунгурского яруса, мощность которых достигает 500 м, в пределах мелких куполовидных поднятий. Карст проявляется при мощности покровных отложений не более 50–75 м в виде воронок, озер, котловин, колодцев, слепых и полуслепых оврагов, суходолов, подземных полостей, каналов и пещер, древних форм, заполненных меловыми и неогеновыми отложениями. Известно свыше 25 пещер, из них Куэш-Тау имеет длину 571 м, Карламанская – 198 м, Охлебининская – 160 м и Курманаевская – 150 м. Район беден поверхностными и подземными водами. Река Белая на протяжении 140–150 км принимает слева лишь два притока. Редкие карстовые родники в основании склонов долин и возвышенностей имеют дебиты от 1–5 до 40–50 л/сек. Интересны Талалаевские сероводородные источники, вытекающие из провалов в долине р. Месельки [13].

В Нижне-Лекандинском месторождении гипса полости с вертикальным размером 0,7–6 м вскрыты на глубине 25–40 м. Ниже залегают ангидриты, являющиеся водоупором. Закарстованность гипсов весьма неравномерна; коэффициент фильтрации на небольшом участке изменяется от 0,09 до 102,5 м/сутки. М. С. Верзаков и В. П. Костарев [13] выделяют в Рязано-Охлебининском районе 5 подрайонов, несколько участков и многочисленные поля и гнезда.

| Подрайон | Площадь, км ² | Колич. воронок |
|-----------------------|--------------------------|----------------|
| Тавтиманово-Варяжский | — | >1800 |
| Турбаслинско-Таушский | 194 | 1097 |
| Охлебининский | 373 | 4470 |
| Кармаскалинский | 585 | 6000 |
| Кабаковско-Сахаевский | — | — |

На некоторых участках Охлебининского и Кабаковско-Сахаевского подрайонов на площади 100 км² в 1940–1966 гг. образовалось 19 провалов диаметром до 20 м, из них семь – в 1966 г.

9. **Федоровско-Стерлибашевский район** приурочен к одноименному валу. Здесь карстуются гипсы, в меньшей степени известняки казанского яруса. В долинах р. Демы и ее притоков распространены воронки, озера, карстово-эрозионные лога, источники с дебитом 10–30 л/сек.

Карст широко распространен и на территории Оренбургского Приуралья [107].

10. **Покровско-Салмышский район** приурочен к одноименным валам, в сводах которых выходят на поверхность кунгурские гипсы и ангидриты.

Карстовые районы Предуральского прогиба (Предуральская карстовая провинция) имеют площадь около 40 тыс. км². Здесь карстуются гипсы, ангидриты и соли кунгурского яруса. К. А. Горбунова [87] в прогибе на территории Пермской области выделяет 7 карстовых районов (рис. 12).

5. **Колво-Вишерский район** расположен в южной части Верхне-Печорской впадины. Карст проявляется в местах, где в песчано-глинистой толще кунгура залегает гипс. Здесь развиты поля воронок с поперечником до 50 м и глубиной до 20 м. Наряду с гипсовым развит соляной карст, особенно в долине р. Вишерки.

6. **Ксекофонтово-Ныробский район** приурочен к Колвинской седловине. Площадь его 550 км². Воронки и котловины наиболее развиты в юго-западной части, где нижнепермские гипсы выходят на поверхность. Встречаются озера, депрессии с поперечником до 1 км, древние плоские блюдца диаметром 80–100 м.

10. **Соликамский район** площадью около 4 тыс. км² находится в пределах одноименной тектонической впадины, сложенной кунгурскими соленосными и гипсоносными отложениями. В результате выщелачивания соли и медленного проседания вышележащих отложений образуются обширные депрессии или мульды оседания с большой мощностью рыхлых отложений. В северной части Соликамской впадины расположены депрессии с поперечником 10–15 км, плоские днища которых заболочены [37]. По ним текут реки Вишера, Колывна, Глухая Вильва. Среди болот встречаются озера, такие как Нюхти (5,5 км²) и Дикое (1,5 км²). Мульды меньших

размеров имеются и южнее [62]. В них скважинами вскрыты песчано-глинистые и галечниковые отложения мощностью до 60 м, в то время как на возвышенностях мощность рыхлых отложений не превышает 1–4 м. Мульды располагаются над антиклинальными складками, срезанными за счет растворения солей. Вышележащие песчано-мергельные породы отличаются повышенной трещиноватостью и водообильностью. В долинах рек, реже в озерах, выходят соляные источники. Отмечается активизация карста при разработке месторождения калийных солей [6].

8. Сергинцовско-Долгушинский район вытянут вдоль западной границы Предуральского прогиба. Площадь его 550 км². На междуречье Чусовой – Косьвы изучено 4 участка и 10 полей с наибольшей плотностью 454 в/км². Здесь закарстованы кунгурские гипсы, ангидриты и каменная соль, залегающие среди терригенных отложений. Карст проявляется локально, в виде полей воронок, карстовых озер, депрессий и источников. Интересна Дурнятская карстовая депрессия с родниковыми сточными озерами [8, 9].

7. Кишертско-Суксунский район площадью около 500 км² находится на восточном крыле Уфимского вала. Здесь закарстованы гипсы и ангидриты кунгурского яруса. При детальном исследовании зафиксировано 2000 воронок, котловины, крупные озерные депрессии, озера, родники с дебитом до 54 л/сек, сульфатные карстовые реки, небольшие пещеры. Часто происходят провалы [28].

9. Тулумбасский район приурочен к одноименному валу в центральной части Сылвинской впадины [26, 133]. Закарстованы кунгурские соли и гипсы, залегающие в терригенной толще, на небольших поднятиях в сводовой части вала, где воронки, провалы и котловины прослеживаются от д. Асово до пос. Тис. Крупные заболоченные котловины и депрессии формируются за счет выщелачивания соли.

11. Кордонский район расположен на междуречье двух истоков р. Молебки. Кунгурские гипсы и ангидриты залегают моноклинально. Сплошная полоса воронок протягивается более чем на километр. В наиболее крупных воронках, диаметром 40–50 м и глубиной 10–15 м, обнажаются песчаники. Известны провалы [87].

Вдоль восточной границы Предуральского прогиба со складчатым Уралом в пределах Пермской области выделяются три карстовые участка – Опокинский, Чусовской и Косьвинский. Опокинский участок расположен на правом берегу р. Вильвы, севернее г. Чусового. Здесь в гипсах кунгурского яруса наблюдаются воронки, котловины, карстовые лога, исчезающая р. Опока. Описаны карстовые источники и три пещеры [1]. Ч у с о в с к о й у ч а с т о к находится в окрестностях г. Чусового. Здесь закарстованы кунгурские гипсы, залегающие среди карбонатно-терригенных пород в зоне надвига. Характерны воронки, провалы, подземные полости. Севернее этих участков гипсовый карст отмечен по рекам Косье (Косьвинский участок), Яйве и Глухой Вильве.

В Предуральском прогибе, южнее Кишертско-Суксунского карстового района, расположено несколько карстовых районов (рис. 14).

20. **Ачитско-Натальинский район** закрытого сульфатного карста и кластокарста, обусловленного деятельностью кунгурского терригенного водоносного горизонта [132].

21. **Юрезано-Айский район** имеет площадь 2600 км². Здесь закарстованы сакмарско-артинские и кунгурские гипсы, ангидриты, доломиты и загипсованные песчаники; описаны воронки, озера, суходолы, исчезающие реки, источники, пещеры, крупные депрессии, заполненные олигоценowymi глинами [12].

23. **Симско-Бельский район** карста в гипсах и ангидритах, разделенных участками карбонатных пород. Встречаются соли.

24. **Икско-Юшатырский район** состоит из трех меридионально вытянутых участков. Закарстованы гипсы и ангидриты казанского и кунгурского ярусов. Характерны депрессии, заполненные мезокайнозойскими отложениями.

25. **Саракташский район** с карстом кунгурских гипсов расположен в пределах Оренбургской области [107].

26. **Североказахстанский район** находится в районе г. Актюбинска.

Притиманская область гипсового и карбонатно-гипсового карста

Эта область приурочена к склонам Тиманского гидрогеологического массива. Данные о сульфатном карсте появились в связи с геологическими и инженерно-геологическими исследованиями.

В области намечается несколько районов [109, 127, 128].

1. **В бассейне р. Вымы** (бассейн Вычегды) и ее притоков (реки Олыма и Чисва, Весляна, Койн) в нижнепермских гипсах и карбонатных породах воронки местами сплошь покрывают поверхность.

2. **В бассейне р. Лопь-Ю** и в верхнем течении р. Нем, левых притоков Вычегды, на участках, сложенных артинско-кунгурскими отложениями, встречаются воронки, озера, котловины, слепые лога. Наиболее закарстована территория у Зуд-горы (в 150–157 км от устья р. Нем). Полоса воронок, сухих логов, озер пересекает долину р. Нем с севера на юг, имея площадь не более 10 км². Глубина крупных форм достигает 10 м при поперечнике 100–150 м. Юго-западнее Зуд-горы в основном по левобережью р. Нем прослеживается другая полоса гипсового карста (5×2 км).

3. **В бассейнах рек Северной Мылвы, Вель-Ю** и в долине р. Печоры, между селами Троицко-Печорск и Рогодин, на положительных структурах проявляется как карбонатный, так и гипсовый карст в кунгурской гипсово-доломитовой толще.

4. **По р. Ухте** с притоками и на р. Ижме в пределах Ухтинской структуры распространен карст в гипсоносной толще верхнего девона.

В верховьях р. Вежавож полоса гипсоносных пород протягивается на 10 км при ширине 2–3 км. Воронки встречаются на террасах р. Ухты. Современный карст приурочен к склонам долин, древний отмечен на левобережной террасе у с. Усть-Ижмы.

Интенсивный карст проявляется в районе Ижемского гипсового рудника на левом берегу р. Ижмы в 20 км с.-в. г. Ухты [81]. Ухтинская свита франского яруса верхнего девона мощностью до 10 м включает несколько пластов гипса, разделенных прослоями мергелей, песчаников и известняков. Породы падают на с.-в. под углом 5–6° и рассечены трещинами с.-з. и с.-в. простираний. Гипсоносная толща перекрыта песчано-гравийными и суглинистыми отложениями II террасы мощностью 12–15 м. Объектом эксплуатации был пласт гипса мощностью до 20 м. На поверхности имеются воронки диаметром до 60 м и глубиной до 8 м, а также ложбины. На глубине 10–25 м прослеживаются перемятые глины с щебнем гипса, мергеля, песчаника, известняка мощностью 1–6 м. При бурении здесь отмечались потери промывочной жидкости. В пласте гипса встречены закарстованные трещины и каверны с сульфатно-кальциевой водой, имеющей минерализацию 2,1–2,4 г/л. При проходке по пласту гипса наклонной шахты водопритоки достигали порядка 400–500 м³/сутки. После отвода воды и цементации трещин работы велись при небольшом поступлении воды. Осенью 1964 г. суммарный приток в рудник достиг 5000–6000 м³/сутки, в июле 1965 г. – 18500 м³/сутки. Пласт гипса выходит в русло р. Ижмы. Речные воды поступают в шахту. На участке между рекой и шахтой в последние годы эксплуатации рудника происходили просадки. Каждый кубометр воды при движении от реки к шахте растворяет 1,3 кг гипса. За 1961–1965 гг. при суммарном водоотливе 8820 тыс. м³ было выщелочено 11,5 тыс. т или 5 тыс. м³ гипса. Шахтный водоотлив обусловил формирование локальной зоны горизонтальной циркуляции трещинно-карстовых вод с потоком от реки к горным выработкам. Осенью 1965 г. водопритоки возросли настолько, что дальнейшая добыча гипса была признана нерентабельной.

5. На Среднем Тимане в бассейне среднего течения р. Цильмы ряд исследователей отмечают воронки в гипсах кунгурского яруса глубиной до 8 м.

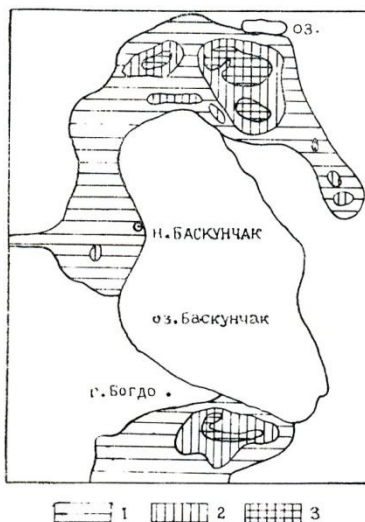
Прикаспийская область соляного и гипсового карста

Здесь широко развиты соляные купола, которых насчитывается несколько сотен. Глубина залегания сводов от 200–250 м до 700–1500 м. Галогенные породы перми выходят на поверхность в прорванных или открытых куполах. Из открытых структур, затронутых карстом, наиболее изучены солянокупольные структуры, окрестностей Баскунчакского, Индерского и Илицкого озер, соответствующие трем карстовым районам.

1. Баскунчакский район. Карст связан с выщелачиванием гипсов кунгурского яруса, залегающих в своде соляного купола, осложненного дизъюнктивными и пликативными нарушениями. Гипсовая толща состоит преимущественно из массивных серых и белых гипсов. Местами встречаются тонкие прослои глин, песчаников и мергелей. Во многих местах мощность гипсов свыше 40–50 м. Гипсы занимают площадь около 360 км², окаймляя почти со всех сторон оз. Баскунчак (рис. 15). Они покрыты тонким чехлом четвертичных отложений, местами обнажены [11]. Карст района оз. Баскунчак освещен в работах по геологии и гидрогеологии [113, 11], по соляному карсту [67], карсту и пещерам [23, 24, 17]. В 1949 г. В. Н. Кузин составил карту карста этого района [109].

Гипсы до глубины около 50 м не содержат водоносных горизонтов, но на з. и с.-з. берегах озера местами вытекают соляные родники. По А. А. Гедеенову, факторами, способствующими развитию карста, являются отсутствие или небольшая мощность покровных отложений, сильная трещиноватость гипсов и преобладание летних осадков.

Рис. 15. Закарстованные площади в окрестностях оз. Баскунчак: 1 – слабо, 2 – средне, 3 – сильно. Составил А. А. Гедеенов, 1940 г. [11]



В. Н. Кузин различает карстовые формы, образовавшиеся в результате выщелачивания, и провальные. К формам выщелачивания относятся воронки – колодцы, симметричные и асимметричные воронки, чашеобразные углубления. Воронки – колодцы глубиной 5–8 м встречаются в центральной части гипсового поля, между озерами Баскунчак и Тургай. Они представляют комбинацию воронки диаметром 5–6 м (верхняя часть) и колодцеобразного углубления с отвесными стенками диаметром 2–3 м (нижняя часть). Симметричные воронки с диаметром большим в 2–3 раза глубины и крутизной

стенки 30–45° развиты на участках с горизонтальным или вертикальным залеганием гипсов, а асимметричные – с моноклиналим. Чашеобразные котловины диаметром до 150 м и глубиной 7–15 м приурочены к периферии гипсовых полей.

Провальные формы представлены вертикальными и наклонными колодеобразными провалами, корытообразными, щелевидными впадинами. Слепые балки и овраги развиты к с.-з. от оз. Баскунчак. Балки Белая, Синяя, Пещерная оканчиваются слепо в некарстующихся породах.

Н. А. Гвоздецкий [17] описывает также удлиненные котловины, вытянутые соответственно простиранию трещин, котловины неправильных очертаний длиной в несколько сотен метров, например, котловины к ю.-з. от оз. Тургай и к с.-з. от оз. Хара-Усун. Многочисленные гипсовые холмы расположены к северу и востоку от озера.

В районе Баскунчака известно несколько небольших пещер, шесть из них были посещены А. А. Геденовым [23]. Две из обследованных пещер – Большая и Малая – расположены на с.-з. побережье, в балке Ак-Джар, а одна – на южном, к востоку от горы Б. Богдо. Коридорная пещера Большая с многочисленными глыбами гипса, следами русла на дне, пещерной глиной имеет длину 350 м.

Многие воронки в гипсах заполнены арало-каспийскими осадками. Современный карст проявляется в балках, ложбинах стока талых снеговых вод и в понижениях, где скапливаются атмосферные осадки.

2. Индерский район. Индерский соляной купол на левом берегу р. Урал представляет одну из характерных открыто прорванных структур Прикаспийской синеклизы. Сводовая часть его площадью более 250 км², сложенная каменной солью с ангидритом и калийно-магнезиальными солями кунгурского яруса, выведена на поверхность и перекрыта гипсовой шляпой мощностью 35–100 м (в среднем около 60 м). В гипсовой шляпе выделяется три горизонта: нижние белые, серые и верхние белые гипсы. Четвертичные отложения (лессовидные суглинки, глинисто-песчаные, ракушечники) залегают в виде сплошного покрова на окраинах поднятия и отдельных пятен на своде.

Детальные исследования карста были проведены З. В. Яцкевичем [134], затем С. С. Коробовым и И. К. Поленовым [65], Э. И. Нурмамбетовым [99]. Гидрогеология карста освещена в ряде работ [10, 98, 116].

Поднятие имеет вид платообразной возвышенности, приподнятой над окружающими степными пространствами на 20–25 м. С юга плато круто обрывается к тектонической впадине, являющейся местным базисом эрозии и областью дренажа карстовых вод. С остальных сторон оно ограничено куэстообразными грядами. Впадина озера представляет типичный компенсационный прогиб.

Водоносный горизонт Индерского купола приурочен к закарстованным гипсам [116]. Зеркало подземных вод залегает на глубине 0–55 м. Наибольшие закарстованность и водообильность гипсов отмечаются на глубине 14–15 м. Минерализация вод увеличивается сверху вниз от 2,8–3,2 г/л до 200–300 г/л на глубине 50 м. Годовая амплитуда колебаний уровня карстовых вод составляет в среднем 0,6 м при максимальном значении 1,26 м. Водоносный горизонт питается не только атмосферными осадками, но и паводковыми водами р. Урал. Речные воды попадают в водоносный горизонт через поверхностные и подземные карстовые формы, в частности карстово-эрозионный овраг в с.-з. части поднятия. По северному побережью озера выходят 32 родника с суммарным дебитом 35, 25 л/сек. Наиболее высокие дебиты имеют родники Ащебулак (22,5 л/сек), Теленбулак (6,1 л/сек), Газовый (2 л/сек), Садыкбулак (1,04 л/сек).

Развитию карста способствуют следующие факторы [65]: 1) состав пород – гипсовая шляпа сложена серым кристаллическим гипсом; 2) трещиноватость пород – глубокие зияющие трещины прослеживаются вглубь на 10–16 м; одна из них была вскрыта на глубине 50 м и уходила под уровень подземных вод; 3) высокое положение (до 45 м) карстующегося массива над урезом озера; 4) континентальный климат, в условиях которого интенсивно протекает физическое выветривание – глыбы серого гипса превращаются в рухляк за 5–6 лет; карст наиболее интенсивен в период таяния снега и ливневых дождей; 5) малая мощность покровных образований и их песчанистый состав.

Гипсы на значительных участках обнажены. На поверхности их наблюдаются каналцы и карры. Вертикальные каналцы диаметром до 2 мм и длиной 5–10 см пронизывают верхний слой гипса, который напоминает губку [134]. Карры имеют вид бороздок шириной 1–3 см, длиной 5–15 см. На крутых склонах воронок в серых гипсах карры превращаются в борозды длиной 2–5 м, шириной 10–20 см и глубиной 10–15 см. Поноры, щелевидные и колодезобразные, приурочены к трещинам и зонам нарушений.

Наиболее распространенными формами являются воронки. Блюдцеобразные (диаметр до 15–20 м и глубина до 3–4 м) преобладают в с.-в. части поднятия, где в основании четвертичного покрова и в гипсовой толще имеются глинистые прослои. В них долго сохраняются талые воды. Колодезобразные воронки (глубина до 15 м) с отвесными стенками приурочены к сбросам, которые прослеживаются с крыльев купола в кепрок. На равнинных участках гипсовой шляпы цепи воронок протягиваются на 1–2 км вдоль систем трещин, возникших за счет неравномерной скорости накопления элювиального гипса над литологически разными горизонтами в своде соляного массива. Преобладают конусообразные воронки (глубина от 2–3 до 10–15 м) с выпуклыми склонами, осложненными каррами, и понорами на дне. Они образуются в трещиноватых

породах с древними заполненными полостями. Асимметричные воронки (глубина 5–10 м, ширина 20–25 м, длина до 50 м) располагаются на склонах, литологических контактах, по линии сбросов.

Следствием слияния воронок являются карстовые котловины диаметром 50–250 м, глубиной до 20 м.

Карстовые овраги двух типов. Глубокие (10–12 м), короткие овраги возникают при малой мощности покровных отложений путем слияния воронок. Длинные (700–800 м), глубокие (до 20 м) карстово-эрозийные овраги типичны для участков с большой мощностью покровных отложений. Через овраги в гипсовую толщу поступает рыхлый материал (суглинки, супеси). Долинообразные пологие понижения с воронками и понорами на дне формируются над участками подземного стока карстовых вод.

Морфология карста контролируется литологией и тектоникой кепрока [65]. Направление стока карстовых вод влияет на ориентировку карстовых форм вблизи северного берега озера, в местах выхода крупных источников. За счет концентрации карстовых вод образовался выводной канал с рекой, над которой на поверхности возникли глубокие воронки, причем часть из них достигает уровня карстовых вод.

З. В. Яцкевич [134] описывает крупные карстовые понижения, например, у подножья гряды Ак-Кабак (10×5 км), глубиной около 10 м. К своеобразным положительным формам он относит холмы. Холмы высотой 20–25 м в центральных частях поднятия имеют крутые склоны, а вдали от него – пологие. Холмы подковообразной формы возникают в центральной части поднятия на месте небольших купольных складок, в ядрах которых образуются котловины за счет растворения соли и обрушения гипсовой кровли.

З. В. Яцкевич [134] выделяет по степени закарстованности четыре типа площадей:

1. Без видимого проявления карста. Гипсы перекрыты четвертичными суглинками. Это площади или с древним карстом, или с подземными каналами, над которыми могут наблюдаться долинообразные понижения.

2. Слабозакарстованные с плотностью менее 10 форм на 1 км². Гипсы покрыты четвертичными отложениями небольшой мощности или имеют спокойное залегание. Поверхностные формы представлены слепыми оврагами, блюдцеобразными, реже конусообразными, воронками.

3. Среднезакарстованные с плотностью 10–50 ф/км². Четвертичные отложения почти отсутствуют или гипсы сильно трещиноваты. Характерны конусообразные воронки, котловины, долинообразные понижения и в меньшей степени поноры.

4. Сильнозакарстованные с плотностью 50–300 ф/км². Это сильно нарушенные площади. Преобладают колодцеобразные и щелеобразные поноры, располагающиеся обычно цепочками. Пещеры,

преимущественно горизонтальные, встречаются довольно часто. Полости с вертикальными размерами 2–3 м фиксируются по провалам бурового инструмента. При проведении опытных откачек в закарстованных породах отмечаются высокие коэффициенты фильтрации (950 м/сутки).

В зоне контакта гипсов и солей отмечались провалы бурового инструмента. Это наиболее закарстованная часть разреза. Местами карстовые полости переходят в 0,5–1,5-метровый прослой слабо сцементированных агрегатов и отдельных кристаллов гипса (1,0–2,5 см) с гипсовым «песком». Иногда на поверхности соли лежит прослой серой или серо-зеленой песчано-глинистой породы с большим количеством кристаллов гипса. На контакте с солями встречаются бурые хвалынские суглинки с обломками карбонатов мощностью до 1 м. Сухой контакт наблюдается редко.

Древние карстовые полости (дохвалынские) обнаруживаются по всему разрезу гипсовой шляпы. Глинистые заполнители полостей составляют до 30 % объема пород кепрока. По мнению С. С. Коробова и И. К. Поленова [65], соляной массив под гипсовой шляпой не охвачен карстом. Полости в солях, заполненные газом или рассолом, образовались в период садки солей и формирования ядра купола.

3. Илецкий район. Илецкий соляной купол расположен к югу от г. Оренбурга, на террасе р. Илек. В равнинном степном рельефе он выражен Гипсовой горой. Купол покрыт песчано-галечными отложениями третьей террасы р. Илек. Протыкание соляным куполом песчано-галечных отложений свидетельствует о молодом возрасте поднятия, сформировавшегося не ранее плиоцена, а возможно, и в антропогене. В плане купол имеет вид эллипса, вытянутого с северо-запада на юго-восток (1,5×2,5 км). Крутые склоны уходят на глубину 1000–1200 м.

Непосредственно к югу от купола протекает р. Большая Елшанка с притоками Малая Елшанка и Песчанка, которые часто меняют русло, размывая купол. Интенсивному развитию карста благоприятствуют отсутствие водонепроницаемых пород и небольшая мощность покровных песков. Атмосферные осадки и воды аллювиальных отложений инфильтруются, питая надсолевые воды. Растворение и вынос соли вызывают карстовые просадки на поверхности купола [35, 36].

Провальные воронки возникают над старыми шахтами (Старая камера). В районе семь озер, занимающих 12 % всей территории соляного штока. В оз. Развал, возникшем в 1906 г. в результате затопления р. Песчанкой открытых разработок каменной соли и последующего выщелачивания бортов карьера, отмечены низкие температуры (– 8° с глубины 6,5 м) при температуре рапы на поверхности + 27° [67].

Гипсовая шляпа соляного купола разбита на отдельные глыбы, которые частично заматы в толщу соли. Гипсовая гора – огромный

останец кепрока, который не зажат в соляную массу, а отброшен на край купола [35]. Останец подвергается интенсивному закарстовыванию (рис. 16).



Рис. 16. Илецкая Гипсовая гора. Рисунок с фотографии [35]

В Прикаспийской области закарстованы и другие соляные купола.

Днепроовско-Донецкая область соляного и гипсового карста

Эта область занимает Днепровский артезианский бассейн и прилегающую часть Донецкого гидрогеологического массива. Закарстованы соли и гипсы верхнего девона и нижней перми. Наиболее изучен карст Славяно-Бахмутской впадины [35, 48, 109, 129]. В ряде работ рассмотрены процессы формирования брекчий и мульд над соляными штоками [69, 61].

1. Карст соляных куполов. Соляные купола Днепроовско-Донецкой впадины сосредоточены в полосе шириной 100–120 км. Соленосная толща, за счет которой формировались соляные купола, имеет девонский возраст. Соль переслаивается с диабазами, песчаниками и глинисто-мергелисто-карбонатными породами. Над соляными массивами в результате подземного выщелачивания создаются шапки остаточных брекчий. В состав надсолевого комплекса входят породы верхнего девона, нижнего и среднего карбона, перми, триаса, юры, мела, палеогена, неогена [69].

Над соляными куполами наблюдаются мульды оседания. Многие исследователи связывают их образование с подземным выщелачиванием кровли соляного массива в зонах активной циркуляции подземных вод. Изучение соляных штоков позволило В. С. Козинцеву [61] выделить три типа крупных воронкообразных мульд. Начало формирования всех мульд оседания совпадает с основными фазами складчатых движений. Большую, а возможно и первостепенную, роль в их формировании сыграл отток соли по каналу штока вниз. По мнению ряда исследователей, причиной реверсивного движения соляных штоков является их рост в смежных районах.

2. Славянский район. В Славянском районе, расположенном в Славяно-Бахмутской котловине, формирование подземных вод и их разгрузка протекают на протяжении 15–20 км и сопровождаются процессами подземного выщелачивания гипсо-ангидритовых пород и каменной соли. Оседание поверхности в зоне разгрузки привело к образованию минеральных озер [129].

Район расположен в бассейне р. Северный Донец, на левобережье р. Казенный Торец, севернее г. Славянска (рис. 17). Поверхность изрезана овражно-балочной сетью. Процессы формирования рассолов связаны с реками Голая Долина и Казенный Торец, минеральными озерами и р. Колонтаевка. Район сложен пермскими и мезокайнозойскими отложениями. Пермские отложения представлены нижней глинисто-ангидритовой толщей (глины, глинистые сланцы, известняки, ангидриты, реже доломиты с включением галита), соленосной толщей (соль 60–70 %, ангидрит 25–30 %, и глинистые породы), верхней гипсово-ангидритовой толщей (гипсы, ангидриты, глины, песчаники и известняки мощностью до 170 м), красноцветной песчано-глинистой толщей (песчаники и глины мощностью от 15 до 380 м). На красноцветной толще залегают четвертичные отложения.



Рис. 17. Граница распространения нижнепермской галогенной формации Донецкого прогиба [46]

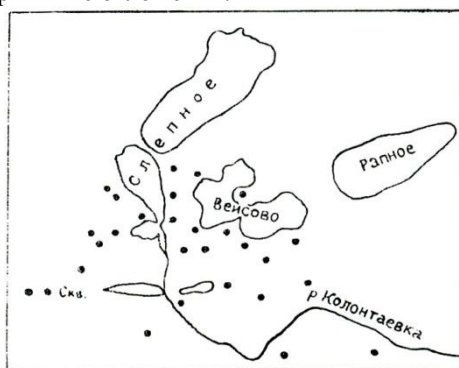


Рис. 18. Минеральные озера Славяновского рассолопромысла [129]. Точками показаны скважины

В пермских отложениях выделяются подземные воды красноцветной песчано-глинистой и гипсо-ангидритовой толщ. Минерализация вод гипсо-ангидритовой толщи уменьшается на поднятиях и возрастает к области разгрузки, а также вниз по разрезу. Рассольный контактный горизонт находится в зоне выщелачивания соляных пластов, поверхность которых представляет соляное зеркало, прикрытое продуктами выщелачивания. Это нижняя часть горизонта подземных вод гипсо-ангидритовой толщи. На площади рассолопромысла воды рассольного, а нередко и вышележащих горизонтов забираются скважинами и поступают вниз, в камеры выщелачивания каменной соли. Искусственная разгрузка сократила естественную разгрузку подземных вод и активизировала процессы выщелачивания.

В области формирования, миграции и разгрузки подземных вод гипсо-ангидритовой толщи в районе Славянска наблюдается ряд явлений, связанных с выщелачиванием пород [129].

1. Экзотектонические формы в основном гипсо-ангидритовых пород. Это отдельные блоки пород в несортированном материале.

2. Проседание красноцветной толщи в средней части долины р. Голая Долина.

3. Долина оседания, приуроченная к фронту краевого склона выщелачивания протяженностью 6 км при ширине до 400 м. В 1953 г. на участке рассолопромысла прогибание за летний сезон достигло 150 мм. Оседание поверхности обусловлено искусственным рассолозабором. В краевых частях долины оседания наблюдаются зияющие трещины. Трещины могут вызвать деформацию жилых домов.

4. Карстовые воронки имеют площадь 0,5–2 га, глубину 3–7 м, часть из них заполнена водой. В 1951 г. возник провал диаметром 3 м и глубиной 3 м. На четвертый день диаметр увеличился до 30 м, а глубина до 8 м. Воронки располагаются вдоль трещин в краевых частях ложбин проседания. Наиболее благоприятны для образования воронок места пересечения трещин. В начале образуется кувшинообразный провал, который затем превращается в воронку.

5. Крупные озера возникают за счет медленного проседания надсолевых пород над местами выщелачивания соли. Оз. Рапное имеет протяжение 800 м, ширину 100–250 м и глубину до 6,5 м (рис. 18).

6. Овражно-балочная сеть формируется в результате не только эрозии, но и подземного выщелачивания.

В гипсо-ангидритовой толще встречаются полости с вертикальным поперечником от нескольких сантиметров до нескольких метров.

3. Бахмутский район. Карст Бахмутской впадины приурочен к гипсо-доломитовым отложениям нижней перми. Выходы гипсов наблюдаются по долинам рек Бахмутка, Мокрая Плотва, Горелый Пень [59]. Воронки встречаются на водоразделах и в долинах рек, на террасах. В разрезе толщи пород Покровского месторождения гипса выделяются глины, гипсы, ангидриты, известняки и мергели. Пять пластов гипса имеют мощность 60 м. Подземная выработка вскрыла крупную карстовую полость шириной 8 м и высотой 12–20 м со слабым водоотокм на дне [64]. Сейчас она затоплена. Закарстованность гипса на Пшеничном месторождении составляет 0,6–52 %, в среднем 17,5 % (отношение площади пустот к общей площади стенки забоя).

Карстовые полости фиксировались в районе ст. Дроновка, г. Артемовска, ст. Доконская и др. Пещера Трипольская (район с. Триполье) имеет длину 135 м, ширину 2,2 м и среднюю высоту 1,6 м. Встречаются озера, одно из них площадью 120 м² и глубиной

1,7 м – имеет $\text{SO}_4\text{--Ca}$ воду с минерализацией 2263 мг/л. Пещера Обвальная, представляющая русло поглощенного ручья, в окрестностях с. Новый Карфаген обследована на протяжении 30 м.

Приднестровская область гипсового карста

Приднестровская область расположена в пределах Львовского и Причерноморского артезианских бассейнов. Здесь закарстованы гипсы, ангидриты и карбонатные отложения неогена.

История изучения карста этой области освещена В. Н. Дублянским, Б. М. Смольниковым [41] и А. Г. Чикишевым [131]. Ряд работ посвящен геологическим условиям развития [72, 33], районированию и типологии [49, 40, 47, 131], морфологии и методике исследования [41] карста. За последние годы спелеологи Львова и Тернополя открыли и исследовали длиннейшие гипсовые пещеры. Появляются сводки и описания отдельных пещер [119, 39, 108, 2].

Неогеновые нижнетортонские отложения представлены кварцевыми песками, песчаниками и известняками, верхнетортонские – песками, гипсами, ангидритами и известняками. Мощность гипсов и ангидритов 10–30 м и только в районе с. Баратов достигает 65 м. Содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в гипсах составляет 99,38–99,72 % [41]. Мощность вышележащих известняков не превышает 10 м. Сарматские песчано-глинистые, местами мергелистые, отложения имеют мощность до 30 м (рис. 19). На коренных породах залегают

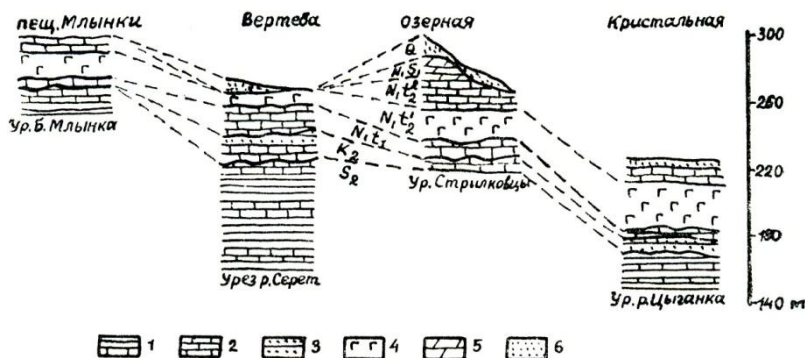


Рис. 19. Геологические разрезы междуречья Серет-Збруч [41]: 1 – сланцы с прослоями известняков, 2 – известняки; 3 – халцедонилиты, глауконитовые и кварцевые пески; 4 – гипсы; 5 – песчано-глинистые и мергелистые отложения; 6 – четвертичные отложения

четвертичные лёссовидные суглинки мощностью 2–5 м. Приднестровская карстовая область расположена в начале зоны сочленения ю.-з. части Русской платформы и Предкарпатского прогиба. Здесь преобладают тектонические трещины и разрывные нарушения

с.-з. и с.-в. простирания, оконтуривающие отдельные блоки. Вдоль разрывных нарушений зафиксированы молодые движения.

Наиболее закарстованы гипсы и ангидриты верхнего тортона, прослеживающиеся полосой шириной до 60 км вдоль Днестра на расстоянии 330 км. Карстовые формы в гипсах представлены воронками, блюдцами, котловинами, понорами, колодцами, каррами, суходолами, нишами и пещерами. Преобладают воронки просасывания и провальные диаметром до 40–60 м и глубиной 15–20 м. Воронки выщелачивания имеют небольшие размеры. На наиболее закарстованных участках плотность достигает 100–400 воронок на 1 км² (около населенных пунктов Городенка, Униж, Чортовец, Окно). На дне воронок нередко поноры и зияющие трещины. Некоторые воронки представляют собой озера (кю.-з. от г. Борщов, в окрестностях с. Тышковцы и г. Городенка). В районе с. Островец (в 12 км к ю.-з. от г. Городенка), г. Немиров, сел Черче, Шкло и в других местах отмечены крупные котловины длиной 300 м и глубиной до 25 м. На правобережье Днестра встречаются и более крупные котловины (3×1,5 км).

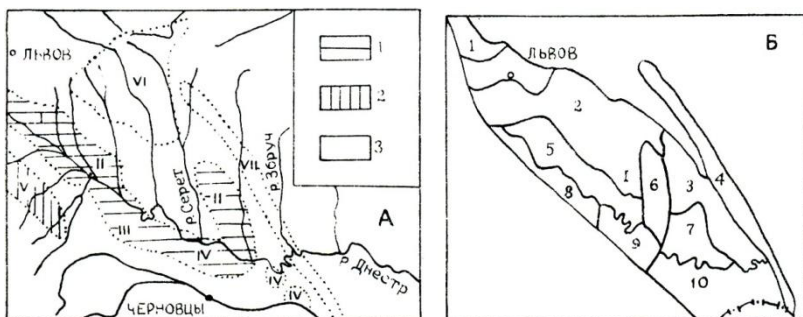


Рис. 20. Схемы районирования карста Подольи. А – Подольско-Буковинская карстовая область по Б. Н. Иванову [47]: 1 – сульфатолиты, 2 – галолиты, 3 – кальцитолиты; карстовые районы: северный (VI – Северное Ополье), центральные (I – Западное Ополье, II – Восточное Ополье или Приднестровская Подолья), западный (V – Прикарпатский), восточный (VII – Толтры); южные (III – Покутье или Покутская Подолья, IV – Буковинские).

Б – Подольский карстовый округ по А. Г. Чикишеву [131]. Карстовые районы: 1 – Немирово-Нестеровский; 2 – Львовско-Бучачский; 3 – Чортково-Орининский; 4 – Толтринский; 5 – Ходорово-Коропецкий; 6 – Золотики-Устечений; 7 – Серетско-Нижнезбручский; 8 – Нижнезбручско-Тлумачский; 9 – Тлумач-Городенский; 10 – Кицмань-Хотинский

Древние карстовые формы выполнены неогеновыми и четвертичными образованиями (воронки на Щирецком гипсовом карьере, котловины на Роздольском месторождении серы).

Приднестровье – одна из интереснейших спелеологических областей нашей страны и мира. Здесь исследованы крупнейшие в мире

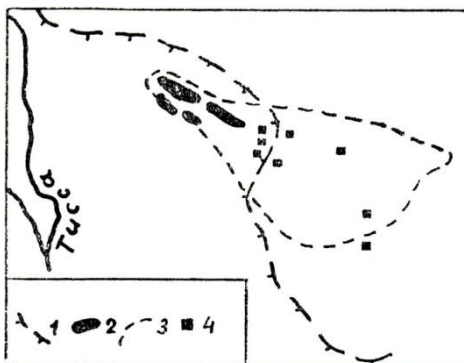
по протяженности пещеры – Оптимистическая (109 км), Озерная (101 км), Кристальная (19 км), Млынки (15 км), Вертеба (8 км), Угрынь и другие, выработанные по системе тектонических нарушений. В основном, они сухие и только в галереях Оптимистической выявлены заполненные водой трещины. Пещеры представляют интерес для археологов и, как показали предварительные исследования, могут быть использованы в лечебных целях.

Первым опытом районирования карста Приднестровья является работа Б. Н. Иванова [47]. В пределах выделенной им Подольско-Буковинской карстовой области он наметил 7 районов (рис. 20, А). А. Г. Чикишев [131] на основе систематизации материала по карсту в пределах Подольского карстового округа характеризует 10 карстовых районов (рис. 20, Б). В районах 1 и 2 развит карст известняков и частично гипсов, 5, 6 и 8 – гипсов и известняков, 7, 9, 10 – гипсов. В районе 7, на междуречье Серета и Збруча, расположены пещеры Оптимистическая, Озерная, Кристальная, Млынки и другие.

Закарпатская область соляного карста

Соляные структуры в Верхнетиссенской впадине, которая является частью глубокого (до 5–6 км) предгорного прогиба внутренней области Карпатской складчатой дуги, приурочены к нижнемиоценовой формации. Карст Солотвинского месторождения освещен в ряде работ [45, 63, 97, 66, 67]. Поверхность Солотвинского соляного штока покрыта глинистыми остаточными продуктами выщелачивания и аллювием мощностью 2–45 м.

Рис. 21. Солотвинская соляная структура [97]: 1 – уступ II террасы р. Тиссы; 2 – карстовые озера; 3 – контур соляного тела; 4 – шахты



В глинах и суглинках встречаются кристаллы гипса до 10–20 мм, образование которых связано с наличием в солях ангидрита (0,1–0,2 %). Долина р. Тиссы в пределах месторождения широкая с террасами, осложненными карстом (рис. 21). На месторождении выделяются боковые, надсолевые, внутрисолевые (остаточные

седиментационные) и карстовые воды. Надсолевые воды приурочены к аллювиальным песчано-гравийно-галечным и суглинистым отложениям [66]. На отдельных участках в каналах и полостях верхней части соляного штока вскрыты карстовые воды хлоридно-натриевого состава с минерализацией 84 г/л, которые питаются надсолевыми водами. Карстовые воды разгружаются в подземные выработки, откуда они откачиваются.

Карстовые формы представлены каррами, понорами, колодцами и пещерами. Условия для развития карста появились в период подъема соляного штока из недр и вступления его вершины в зону активной циркуляции подземных вод в позднем плиоцене. Оживление карста произошло вследствие промышленной разработки месторождения.

На участке «Затон», где аллювий второй террасы снят при проведении вскрышных работ, каменная соль выходит на поверхность. Здесь широко развиты формы, часть которых заполнена надсолевыми водами [97]. Образовавшиеся карстовые озера имеют площадь до 2000 м² и глубину около 10 м. Соляные шахты Солотвино используются для лечения бронхиальной астмы.

Северокавказская область карбонатно-гипсового карста

Эта область расположена на северном склоне Большекавказской складчатой гидрогеологической области. Описания карста имеются в работах К. И. Богдановича (1909 г.) и И. С. Щукина (1914 г.). Карст отдельных районов исследовали М. А. Зубашенко [42], Н. А. Гвоздецкий [16, 20, 21], П. А. Костин [68], М. К. Казанбиев [57] и др. Ряд работ посвящен карстовым брекчиям [94, 56].

Н. А. Гвоздецкий [21] для верхнеюрских отложений Северного Кавказа выделяет три типа гипсового карста. Голый карст встречается на плато Скалистого хребта, восточнее Большого Бермамыта, а также в бассейне р. Лабы. Задернованный карст описан по рекам Малой и Большой Лабе и их притокам, на водоразделе Большого и Малого Зеленчука, по рекам Кубани и Белой. Покрытый карст отмечен на гряде из красноцветных гипсоносных отложений на плато севернее и восточнее Большого Бермамыта в южной части Кавказских Минеральных вод, где имеются провалы, котловины, желоба, рвы, исчезающие ручьи и источники.

М. А. Зубашенко [42] описывает шесть карстовых участков в бассейнах рек Малая и Большая Лаба и Уруп (рис. 22).

1. **По левобережью р. Губс** на склонах г. Эквецопко видимая мощность гипса не менее 30 м. Участок склона долины, сложенный гипсами, выделяется в виде закарстованной площадки. Местами она занята котловинами до 300 м в поперечнике и 20 м глубиной. Воронки видны на склоне по пятнам растительности.

2. **На южном склоне горы Кизинчи**, на участках выхода гипсов,

склон каньонообразной долины р. Кизинчи покрыт воронками и выделяется в виде террасовидного уступа. На дне одной из глубоких воронок течет ручей. Ниже по склону он выходит на поверхность и впадает в реку. В гипсах г. Кизинчи описана пещера, которая переходит в узкий каньонообразный лог с ручьем на дне, образовавшийся за счет обрушения кровли подземных полостей.

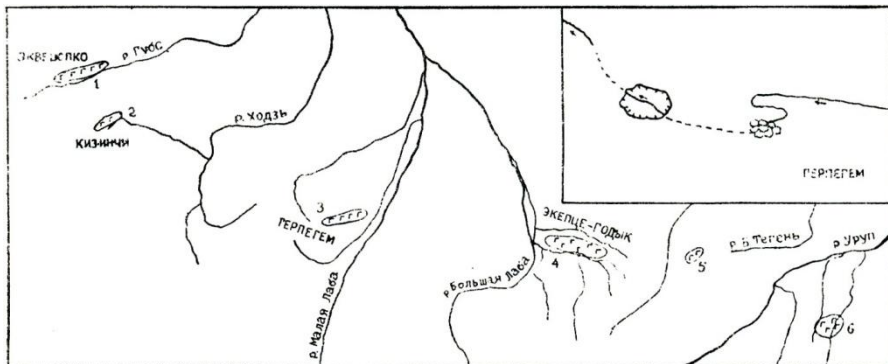


Рис. 22. Карст верхнеюрских гипсов на северном склоне Западного Кавказа [42]

3. **Северный склон восточного окончания куэсты Герпегем** разделен провальными карстовыми логами на три гряды. Здесь много воронок и котловин, есть родники, пещеры, исчезающие речки.

4. **Гипсовая куэстовая гряда Экепце-Годык** между притоками Б. Лабы разделена сухими долинами на ряд вершин. В одной из карстовых котловин находится оз. Круглое (100×200 м). По дну логов тянутся цепи воронок. Несколько воронок соединяются подземным проходом, над которым поднимаются мосты. По дну воронок и прохода течет ручей. Линейно расположенные воронки местами сливаются в лога. На дне одного из них имеется карстовый колодец диаметром 1 м и глубиной до 6 м. В верховье р. Кунч расположено оз. Черное (300×200 м).

5. **В верховьях р. Б. Тегень** закарстован гипсовый холм. Площадь, сложенная гипсами, понижена относительно окружающей местности. Р. Соленая, вытекающая из пещеры, на протяжении 3 км исчезает в воронке, затем появляется на дне трех провалов. Провалы отделяются карстовыми мостами. Вблизи впадения в р. Б. Тегень р. Соленая принимает сероводородный источник.

6. **В бассейне р. Уруп** имеются карстовые озера, наибольшее из которых Рогожка (40×50 м), карстовая Безымянная долина, в верховьях которой находится пещера Голубиная.

Сульфатные сероводородные источники известны в бассейнах рек Аргун, Андийское Койсу. По левому берегу р. Аргун выходят

сероводородные сульфатные источники с суммарным дебитом 25–30 л/сек и содержанием сероводорода до 38 мг/л [57]. Гипсовые пещеры этой области имеют длину до 1,9 км.

Карстовые брекчии, связанные с растворением гипса и дроблением чередующихся с ним слоев известняка и доломита, встречены по долинам рек Сулак, Андийское и Аварское Койсу. Максимальная мощность их до 130 м [94, 56].

Анализ имеющегося материала по карстовым областям Восточноевропейского региона позволяет сделать вывод о разнообразии природных обстановок и форм проявления гипсового карста.

1. Гипсовый карст активно проявляется в различных физико-географических обстановках: на о. Новая Земля в условиях арктического климата [15], в лесной (Северодвинская, Прибалтийская области, большая часть Волго-Камской области), лесостепной (южная часть Волго-Камской области, Приднестровская область), степной (юго-восточная оконечность Волго-Камской области, Днепро-Донецкая область), полупустынной и пустынной (Прикаспийская область) зонах. В Восточносибирском регионе активный гипсовый карст исследован в зоне развития многолетней мерзлоты, а в Среднеазиатском – в пустынной и высокогорной обстановках. Гипсовый карст проявляется и при неглубоком эрозионном расчленении в условиях низменностей (Прикаспийская), равнин (Поволжье), плато (Кулойское, Уфимское), он встречается и на склонах горных сооружений (Северокавказская область).

2. Гипсовый карст распространен в различных геологических обстановках – на крыльях и в сводах платформенных структур с пологим, почти горизонтальным или моноклинальным залеганием, на крыльях антиклинорий с крутым моноклинальным залеганием, в гипсовых куполах и гипсовых шляпах соляных куполов. Пласты гипса обычно имеют небольшую мощность (40–80 м) и чередуются с карбонатными или терригенными породами, а в некоторых случаях контактируют с солями. Карст развивается по типу закрытого и открытого, реже – голого и задернованного. Покровные отложения представлены аллювием, флювиогляциальными и моренными отложениями, карбонатными или терригенными породами, в отдельных случаях карстовыми брекчиями.

3. Зона активного карстообразования в гипсах имеет небольшую мощность в связи с затуханием трещиноватости и быстрым насыщением карстовых вод сульфатами кальция с глубиной. Нетрещиноватые гипсы и ангидриты являются водоупорами. Нередко отмечаются случаи активного карста при залегании кровли гипса ниже эрозионных врезов, при наличии в рыхлых покровных отложениях пресных грунтовых вод, а также при гидравлической связи грунтовых вод с напорными карстовыми водами верхней закарстованной части толщи гипса. Гипсы наиболее закарстованы на участках интенсивной трещиноватости, склонах долин и присклоновых частях

междуречий, на контакте с водоносными известняками, доломитами, песчаниками, рыхлыми отложениями, солями, в местах разгрузки напорных вод, прибрежных частях водохранилищ.

4. Поверхностные формы карста представлены каррами на участках голого и задернованного карста, понорами, карстовыми колодцами, воронками, плотность которых достигает 500–1000 на 1 км², котловинами, карстовыми рвами, депрессиями с поперечником в несколько километров, карстовыми и карстово-эрозионными логами, цирками, останцами и другими формами. Для гипсового карста характерны карстовые озера, от ультрапресных до солоно-ватных, родники и малые реки с сульфатной водой при минерализации до 2 г/л.

Подземные формы – это различного рода полости, каналы и пещеры коридорного или решетчатого типа, развитые по системам тектонических нарушений. Суммарная длина всех ходов отдельных длиннейших пещер Подполии достигает 100 км и более.

5. Районы активного сульфатного карста неблагоприятны в инженерно-геологическом отношении и для поисков пресных подземных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агашков В. И., Трушников М. С. Опокинские пещеры. В сб.: Пещеры, вып. 5(6). Пермь, 1965.
2. Апостолов В. В., Горбенко П. П., Зимельс Ю. Л., Максимов Б. М. Новые данные об Озерной пещере Подполии. В сб.: Пещеры, вып. 12–13. Пермь, 1972.
3. Атлас литолого-палеогеографических карт СССР, т. I–IV. М., 1967–1969.
4. Бачинский Н. А., Дублянский В. Н., Штенгелов Е. С. Кривченская (Кристалльная) пещера в гипсах Подполии. В сб.: Пещеры, вып. 4(5). Пермь, 1964.
5. Бельтюков Г. В. Карстовые воды Верхнекамского соленосного бассейна. В сб.: Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.
6. Бельтюков Г. В., Голубев Б. М. Антропогенный карст Верхнекамского месторождения калийных солей. В сб.: Гидрогеология и карстование, вып. 3. Пермь, 1966.
7. Бутырина К. Г. Карст бассейна нижней Косы и его влияние на химический состав речных вод. В сб.: География Пермской области, вып. 3. Пермь, 1966.
8. Бутырина К. Г. Особенности гипсового карста центральной части Пермской области. В сб.: Вопросы карстования. Пермь, 1969.
9. Бутырина К. Г. Карстовые районы и участки центральной части Пермской области. В сб.: Вопросы физич. географ. Урала, вып. 2. Пермь, 1975.
10. Васильев Г. А., Поленов И. К., Актанов Е. С. Особенности опытных гидрогеологических работ в гипсовой шляпе одного соляного купола Прикаспия. Труды ВНИИГ, вып. 53. Л., «Недра», 1967.
11. Вахрушев Г. В. Баскунчакское месторождение гипсов и перспективы его промышленного использования. В сб.: Баскунчакское месторождение гипсов и перспективы его промышленного использования. Изд. Саратовского ун-та, 1948.
12. Вахрушев Г. В. Распространение и условия образования карста Башкирии. В сб.: Новости карстования, вып. 2. М., 1961.
13. Верзаков М. С., Костарев В. П. Карст сульфатных отложений Рязано-Охлебнинского вала. В сб.: Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.

14. Вопросы изучения карстовых явлений в районе г. Дзержинска. Тр. Лаборатории гидрогеол. проблем, т. 47. М., Изд. АН СССР, 1962.
15. Вопросы инженерного карстоведения. Кунгур, 1972.
16. Гвоздецкий Н. А. Опыт районирования карста Большого Кавказа. Географический сб., вып. 1. М. – Л., Изд. АН СССР, 1952.
17. Гвоздецкий Н. А. Карстовые явления в окрестностях озера Баскунчак. В сб.: Памяти проф. А. Н. Мазаровича. Изд. МОИП, 1953.
18. Гвоздецкий П. А. Карст М., Географгиз, 1954.
19. Гвоздецкий Н. А. Вопросы географического районирования карста на территории СССР. В кн.: Общие вопросы карстоведения. М., 1962.
20. Гвоздецкий Н. А. Карст района Кавказских Минеральных Вод. В кн.: Карст и его народнохозяйственное значение. Тр. МОИП, т. VII. М., «Наука», 1964.
21. Гвоздецкий Н. А. Типы карста Северного Кавказа. В кн.: Типы карста в СССР. М., «Наука», 1965.
22. Гвоздецкий Н. А., Чикишев А. Г. Районирование карста Русской равнины. В сб.: Вопросы изучения карста Русской равнины. М., 1966.
23. Гедеонов А. А. Пещеры окрестностей оз. Баскунчак. Изв. ВГО, г. 72, вып. 3, 1940.
24. Гедеонов А. А. Карст окрестностей оз. Баскунчак. В сб.: Тезисы докладов карстовой конференции. Пермь, 1947.
25. Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1:7500000 под редакцией И. К. Зайцева. ВСЕГЕИ, 1966.
26. Горбунова К. А. Районирование карста Пермской области. В сб.: Доклады на научном совещании по изучению карста, вып. 16. М., 1956.
27. Горбунова К. А. Опыт детальных гидрогеологических исследований карста на примере восточного крыла Уфимского вала. В сб.: Методика изучения карста, вып. 6. Пермь, 1963.
28. Горбунова К. А. Особенности гипсового карста. Пермь, 1965.
29. Горбунова К. А. Опыт мелкомасштабного районирования сульфатного и сульфатно-соляного карста на основе анализа литолого-палеогеографических карт. В сб.: Пятая всесоюзная конференция по тематической картографии (тезисы докладов), вып. 1. Тбилиси, 1973.
30. Горбунова К. А. Опыт районирования сульфатного и соляного карста на литолого-палеогеографической и гидрогеологической основах. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 5. Пермь, 1974.
31. Горбунова К. А. Изученность гипсового и соляного карста на территории СССР. В сб.: Состояние и задачи карстово-спелеологических исследований. М., 1975.
32. Горбунова К. А., Мон яков Ю. К. Геологические предпосылки развития сульфатного карста на территории СССР. В сб.: Вопросы карстоведения. Пермь, 1969.
33. Гофштейн И. Д. Тектоническая трещиноватость и гипсовый карст Подолии. Изв. ВГО, т. 99, вып. 6, 1967.
34. Далинкевичус Ю. А. Геологические исследования Литвы. Очерки по истории геологических знаний, вып. 3. М., Изд. АП СССР, 1955.
35. Дзене-Литовский А. И. Соляной карст СССР. Л., «Недра», 1966.
36. Дзене-Литовский А. И., Шашерова Е. И. Карст каменной соли Илецкого соляного купола. Зап. Всерос. минерал. о-ва, ч. 69, вып. 4, 1940.
37. Дорофеев Е. П., Лукин В. С. Карстовые мулды оседания в северной части Соликамской депрессии. В сб.: Вопросы карстоведения. Пермь, 1969.
38. Дорофеев Е. П., Лукин В. С. Кунгурская ледяная пещера. Перм. кн. издат., 1970.
39. Дублянский В. Н. Карстовые пещеры Среднего Приднестровья. В сб.: Вопросы изучения карста Русской равнины. М., 1966.
40. Дублянський В. І., Іванов Б. Н. Карст Подільсько-Буковинської карстової області В сб.: Фізична географія та геоморфологія, 4. Вид. Київського ун-ту, 1970.

41. Дублянский В. Н., Смольников Б. М. Карстолого-геофизическис исследования карстовых полостей приднестровской Подолии и Покутья. Киев, «Наукова думка», 1969.
42. Зубашенко М. А. Карстовые явления в верхнеюрских гипсах на северном склоне Западного Кавказа. Изв. Воронежского пед. ин-та, т. IV, 1938.
43. Зубашенко М. А. Опыт районирования карста на территории европейской части СССР и Кавказа. Изв. Воронежского пед. ин-та, т. 5, 1939.
44. Иванов А. А., Воронова М. Л. Галогенные формации. М., «Недра», 1972.
45. Иванов А. А., Корневский С. М. Карстовые явления в Солотвинском месторождении каменной соли. В сб.: Материалы по геоморфологии. Тр. ВСЕГЕИ, Госгеолиздат, 1953.
46. Иванов А. А., Левицкий Ю. Ф. Геология галогенных отложений (формаций) СССР. М., Госгеолтехиздат, 1960.
47. Иванов Б. Н. О типологии карстового рельефа равнин на примере Подольско-Буковинской карстовой области. В кн.: Вопросы карста на юге европейской части СССР. Изд. АН УССР, 1956.
48. Иванов Б. Н., Дрозд Н. И. Основные карстовые районы Украины и Молдавии и особенности формирования стока рек на их территории. Тр. Совещ. по вопр. компл. изуч. режима поверхн. и подз. вод в карст. р-нах. Л., 1969.
49. Иванов Б. Н., Дублянский В. Н. Поверхностный и глубинный карст юго-западной окраины Русской платформы. В сб.: Вопросы изучения карста Русской равнины. М., 1966.
50. Иконников Е. А., Костарев В. П. Новые данные о карсте бассейн рек Барды и Шаквы. В сб.: Вопросы карстоведения. Пермь, 1969.
51. Ильин А. Н. Орогидрография и поверхностные проявления карста района Алатырско-Горьковских поднятий. В сб.: Вопросы изуч. карстовых явлений в районе города Дзержинска. М., Изд. АН СССР, 1962.
52. Ильин А. Н., Капустин А. П., Коган И. А., Попов И. В., Прозорова Н. А., Саваренский И. А., Лихачев С. М. Карстовые явления в районе города Дзержинска Горьковской области. М., Изд. АН СССР, 1960.
53. Илюхин В. В., Аронов М. П., Сахаров Б. В. Борнуковские пещеры. В сб.: Пещеры, вып. 5(6). Пермь, 1965.
54. Кавеев М. С. Общие закономерности развития карстовых явлений в центральной части Волжско-Камского бассейна. Изв. Казанского филиала АН СССР, сер. геол., 1959, № 7.
55. Кавецкис М. А. Карстовые явления на территории Литовской ССР. В кн.: Региональное карстоведение. М., Изд. АН СССР, 1961.
56. Казанбиев М. К. Брекчия верхнеюрских отложений Дагестана и ее образование. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 7. Пермь, 1975.
57. Казанбиев М. К. Гипсовый и соляной карст Дагестана и Чечено-Ингушетии. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 7. Пермь, 1975.
58. Карст Башкирии (тезисы докладов к Совещанию по вопросам научного и практ. знач. карста Башкирии). Уфа, 1971.
59. Климчук А. Б., Рогожников В. Я. Сульфатный карст Бахмутской котловины. В сб.: Пещеры, 12–13. Пермь, 1972.
60. Коврижных Е. В., Сабуров Д. Н., Саенко И. И., Греченко А. Н., Малков В. И. Спелеологическая изученность Пинего-Северодвинской карстовой области. В сб.: Состояние и задачи карстово-спелеологич. исследований. М., 1975.
61. Козинцев В. С. Типы воронкообразных мульд оседания над соляными штоками Днепровско-Донецкой впадины. Советская геология, 1971, № 1.
62. Копнин В. И. Некоторые особенности соляного карста в районе Верхнекамского месторождения. Гидрогеол. сб. № 3, тр. Ин-та геологии УФАССР, вып. 69. Свердловск, 1964.
63. Корневский С. М. Соляной карст Верхнетиссенской впадины. В кн.: Региональное карстоведение. М., 1961.

64. Корженевский Б. А. Карст Донбасса и его гидрогеологические и инженерно-геологические особенности. В сб.: Фізична географія та геоморфологія, вып. 4. Киев, 1970.
65. Коробов С. С., Поленов И. К. Карст одного солянокупольного поднятия Прикаспийской впадины. В сб.: Гидрогеология соляных месторождений и минеральные воды. Тр. ВНИИ Г, вып. 46. Л., «Недра», 1964.
66. Короткевич Г. В. Гидрогеологические условия и карст Солотвинского соляного купола. В сб.: Гидрогеология соляных месторождений и минеральные воды. Тр. ВНИИГ, вып. 46. Л., «Недра», 1964.
67. Короткевич Г. В. Соляной карст. Л., «Недра», 1970.
68. Костин П. А. Карст северного склона Скалистого хребта Лабино-Зеленчукского междуречья (Северный Кавказ). Изв. ВУЗ, геология и разведка, 1965. № 9.
69. Косыгин Ю. А., Бланк М. И. Типы соляных структур Днепровско-Донецкой впадины. Бюл. МОИП, отд. геол., т. 33, вып. 6, 1958.
70. Котельников В. А., Торсуев Н. П. Карст в сульфатных породах Онего-Северодвинского междуречья. Уч. зап. Казанск. ун-та, т. 127, кн. 6, 1967.
71. Кротова Е. А. Геологическая деятельность вод в карстовых районах Пермской области. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 4. Пермь, 1971.
72. Кудрин Л. Н. О происхождении самых крупных карстовых пещер СССР и методика определения их возраста. Бюл. МОИП, отд. геол., т. 39, вып. 5, 1964.
73. Кудряшов И. К. Гипсовый карст Западной Башкирии. В сб.: Новости карстоведения и спелеологии, вып. 2. М. – Л., 1961.
74. Кудряшов И. К. Районирование карста Башкирии. В сб.: Материалы шестого Всероссийского совещания по вопросам географии и охраны природы. Уфа, 1961.
75. Кухарев Н. М. Карст Двинско-Мезеньского междуречья. Изв. ВУЗ, геология и разведка, 1968, № 12.
76. Кухарев Н. М. Инженерно-геологические изыскания в областях развития карста в целях строительства. М., «Стройиздат», 1975.
77. Лаптева Н. Н. Глубинный карст и карстовые эпохи на территории МА СССР. В сб.: Карст равнинных территорий европейской части СССР. Казань, 1974.
78. Лукин В. С. Провальные явления на Урале и в Предуралье. Гидро-геол. сб. № 3, тр. Ин-та геологии УФ АН СССР, вып. 69. Свердловск, 1964.
79. Лукин В. С., Ежов Ю. А. Карст и строительство в районе Кунгура. Пермск. книжн. изд-во, 1975.
80. Лушников Е. А. Районирование карста Башкирии. В кн.: Региональное карстоведение. М., 1961.
81. Лысенин Г. П., Сосновская Г. Д. Обводнение Ижемского гипсового рудника в Коми АССР. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 5. Пермь, 1974.
82. Маков К. И. Подземные воды Башкирской АССР. Изд. АН УССР, 1946.
83. Максимович Г. А. Районирование карста СССР. Докл. 4-го Всеур. совет, по физ.-геогр. и эконом.-геогр. районированию. Пермь, 1958.
84. Максимович Г. А. Распространение и районирование карста СССР. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 1. Пермь, 1962.
85. Максимович Г. А. Тектонические закономерности распределения карста на территории СССР. В кн.: Общие вопросы карстоведения. М., 1962.
86. Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. 1, II. Пермь, 1963, 1969.
87. Максимович Г. А., Горбунова К. А. Карст Пермской области. Пермь, 1958.
88. Максимович Г. А., Горбунов К. А. Типы карста Урала. В кн.: Типы карста в СССР. М., 1965.

89. Максимович Г. А., Костарев В. П. Карст и некоторые особенности гидрогеологии Приуральской карстовой провинции. Изв. ВУЗ, геология и разведка, 1968, № 11.
90. Максимович Г. А., Костарев В. П. Карстовые районы Урала и Приуралья. В сб.: Вопросы физической географии Урала, вып. 1. Пермь, 1973.
91. Мартин В. И. Карст. В кн.: Гидрогеология СССР, т. XV, гл. 4. М., «Недра», 1972.
92. Мартин В. И. Карст в гипсах Южного Приуралья. В сб.: Материалы восьмого Всеуральского совещания по вопр. геогр., охраны природы и природопользования. Уфа, 1973.
93. Мусин А. Г. Районирование карста Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Географический сб., вып. 1. Казань, 1966.
94. Мусин А. Г., Магомедов К. К. Карбонатные брекчии гипсового карста Дагестана. В сб.: Гидрогеология и карстование, вып. 4. Пермь, 1971.
95. Нарбутас В. В. Карст и перспективы поисков гипсовых месторождений в районе Биржай – Пасвалис. Тр. АН Лит. ССР, сер. Б, 2(10). Вильнюс, 1957.
96. Нарбутас В., Пранайтис В. Современный карст в девонских гипсах Северной Литвы. Сб. статей для XIX Междунар. геогр. конгр. АН Литовской ССР. Вильнюс, 1960.
97. Николишин В. П. Влияние разработок Солотвинского соляного рудника на развитие карста. В сб.: Гидрогеология соляных месторождений и вопросы подземного выщелачивания соляных залежей. Л., «Недра», 1967.
98. Нурмамбетов Э. И. О связи подземных вод Индерского солянокупольного поднятия с водами реки Урала. Изв. АН Казахской ССР, 1964, № 3.
99. Нурмамбетов Э. И. О закарстованности гипсовой шляпы одного из соляных куполов. Вестник АН Казах. ССР, Алма-Ата, 1965, № 10(248).
100. Отрешко А. И. Особенности карста междуречья притоков Волги Сока и Самары. Изв. ВГО, т. 94, вып. 4, 1962.
101. Панарина Г. Н., Морозов Н. К. Пещеры гипсового карста Пермской области. В сб.: Вопросы карстования. Пермь, 1970.
102. Печеркин И. А. Геодинамика побережий Камских водохранилищ, ч. II. Пермь, 1969.
103. Печеркин И. А. К вопросу типизации закарстованных берегов Камского водохранилища. В сб.: Вопросы карстования. Пермь, 1969.
104. Печеркин И. А., Карзенков Г. И., Мацкевич И. К. Эфемерные пещеры. В сб.: Пещеры, вып. 5(6). Пермь, 1965.
105. Печеркин И. А., Мурдасов М. Д. Карстологическое районирование Полазненского полуострова. В сб.: Геология и петрография Западного Урала, вып. 6. Уч. зап. № 283. Изд. Пермского ун-та, 1974.
106. Пещеры Пинего-Северодвинской карстовой области. Л., 1974.
107. Поспелова Г. В. К вопросу районирования карста восточной части Оренбургской области. Уч. зап. Оренбургского пед. ин-та, сер. естеств.-геогр. наук, вып. 10. 1957.
108. Радзиевский В. А. Пещера Озерная. В сб.: Землеведение, т. 7. М., Изд. МГУ, 1967.
109. Родионов Н. В. Карст европейской части СССР. М., Госгеолтехиздат, 1963.
110. Сабуров Д. Н. Физико-географические условия и районирование Пинего-Северодвинской карстовой области: В кн.: Пещеры Пинего-Северодвинской карстовой области. Л., 1974, с. 37–44.
111. Саваренский И. А. Инженерно-геологическая оценка карстовых явлений в районе г. Дзержинска. Вопросы изуч. карстовых явлений в районе города Дзержинска. М., Изд. АН СССР, 1962.
112. Селивановский Б. В., Каштанов С. Г. Карст Среднего Поволжья. В сб.: Вопросы геоморфол. Среднего Поволжья. Уч. зап. Казанского ун-та, т. 121, кн. 6, 1961.

113. Семихатов А. Н. К гидрогеологии окрестностей Баскунчакского озера. В сб.: Вопросы гидрогеол. и инж. геологии, вып. 8. 1933.
114. Силич М. В. Гидрография карста Литовской ССР. Тр. III Всесоюз. гидрол. съезда, т. IX. Л., 1959.
115. Скуодис В. Особенности гипсового карста Прибалтики. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 7. Пермь, 1975.
116. Сотников А. В., Архидьяконских Ю. В. О карстовых водах соляных куполов Прикаспийской впадины. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 5. Пермь, 1974.
117. Ступишин А. В. Карст Поволжья. В кн.: Типы карста в СССР. М., «Наука», 1965.
118. Ступишин А. В. Равнинный карст и закономерности его развития на примере Среднего Поволжья. Казань, 1967.
119. Татаринов К. А. Краткие сведения о пещерах и гротах на западе Украины. В сб.: Пещеры, вып. 6(7). Пермь, 1966.
120. Ткалич С. П. Карст «Уфимского полуострова» (Башкирия) и намечающиеся закономерности его развития. В кн.: Региональное карстоведение М., Изд. АН СССР, 1961.
121. Торсуев Н. П. Карст бассейна реки Мехреньги. Изв. ВГО, т. 93, вып. 6, 1961.
122. Торсуев Н. П. Карст Онего-Северодвинского междуречья. Казань, 1964.
123. Торсуев Н. П. Интенсивность проявления современного карста в бассейнах Пинеги и Кулой. Вести. Моск. ун-та, сер. V, геогр., 1965, № 6.
124. Торсуев Н. П. Современное карстопроявление северной половины Беломорско-Кулойского плато. Географический сб., вып. 1. Казань, 1966.
125. Торсуев Н. П. Карст в поле распространения иижнекрасноцветной толщи бассейна р. Кулой. Географический сб., вып. 1. Казань, 1966.
126. Торсуев Н. П. Распространение карста на севере Русской равнины. Географический сб., вып. 3. Казань, 1967.
127. Торсуев Н. П. Современная карстопораженность территории Тиманского поднятия. В сб.: Физич. география и геоморфология Среднего Поволжья. Изд. Казанского ун-та, 1972.
128. Торсуев Н. П. Распространение гипсового карста на Тиманском кряже. В сб.: Гидрогеология и карстоведение, вып. 7. Пермь, 1957.
129. Ходьков А. Е. Процессы подземного выщелачивания соляных и гипсово-ангидритовых пород на Славянском месторождении и их проявления на поверхности. В со.: Материалы к изучению соляных месторождений и минеральных вод. Тр. ВНИИГ, вып. 30, Л., Госхимиздат, 1955.
130. Чикишев А. Г. Карст Кулойского плато. В сб.: Вопросы изучения карста Русской равнины. М., 1966.
131. Чикишев А. Г. Карст Подолии. В сб.: Землеведение, т. VIII, 1969.
132. Шимановский Л. А. Изучение карста при мелкомасштабных гидрогеологических съемках на примере Уфимского плато и прилегающих территорий. В сб.: Методика изучения карста, вып. 6. Пермь, 1963.
133. Шимановский Л. А., Хурсик В. З. К характеристике карста Юрюзано-Сылвенской депрессии. В сб.: Карст Урала и Приуралья. Пермь, 1968.
134. Ядкевич З. В. Материалы к изучению карста Индерского поднятия. Изв. ВГО, т. 69, вып. 6, 1937.
135. Юшкин Н. П. Карстовые процессы и формирование полостей в карбонатных и сульфатных породах в условиях арктического климата (Новая Земля, Вайгач, Пай-Хой). В сб.: Состояние и задачи карстово-спелеологических исследований. М., 1975.
136. Gorbunova K. A. Geological factors in the development of gypsum and gypsum-halite karst on the territory of the USSR. Abstr. of papers VI Int. Congress of Speleol. Czechoslovakia, 1973.
137. Narbutas V. Karstiniai Reiskiniai Lietuvoje. Vilnius. 1958.

ВЛИЯНИЕ ГИПСОВОГО КАРСТА НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ

Гипсовый карст оказывает влияние на все компоненты природного ландшафта и на хозяйственную деятельность человека (табл. 4). Растворение гипса и ангидрита сопровождается изменением состава подземных вод – увеличением содержания сульфатного и кальциевого ионов и повышением минерализации до 2–3 г/л. Сульфатные карстовые воды разгружаются в виде наземных источников, в озера-старицы, карстовые озера или подземно в грунтовые воды, определяя их состав. Влияние гипсового карста на химический состав поверхностных и грунтовых вод рассмотрено на примере карстовых районов Пермской области. Пробы отобраны в основном летом 1958–1959 гг. Химические анализы произведены в гидрогеохимической лаборатории кафедры динамической геологии и гидрогеологии Пермского университета Л. А. Степановой. Кроме компонентов, указанных в таблицах, определялись NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Fe^{++} , Fe^{+++}

Малые реки районов гипсового карста

Крупные транзитные реки, пересекающие районы активного гипсового карста, незначительно изменяют состав воды вблизи устьев небольших притоков, имеющих воду сульфатного состава. Это влияние можно проследить на примере р. Сылвы в Кишертско-Суксунском и Кунгурско-Иренском карстовых районах Пермской области. Непосредственно ниже устьев левых притоков р. Сылвы – Мазуевки, Кишертки и других, имеющих сульфатный состав и минерализацию свыше 1 г/л, содержание сульфатного иона и минерализация реки возрастают (табл. 5). На этих участках река дренирует грунтовые воды с повышенной минерализацией. Воды р. Сылвы в районе г. Кунгура относятся к гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевой гидрофации. Зимой минерализация воды увеличивается до 660 мг/л при содержании сульфатного иона 160 мг/л, а весной падает до 200 мг/л [11]. Ее притоки – Шаква и Ирень – имеют сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый состав при минерализации 760–1280 мг/л.

Малые реки сульфатного карста детально изучены на юге и в центральной части Пермской области [2, 4, 5, 7], где преобладают сульфатно-кальциево-гидрокарбонатные и сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые гидрофации речных вод [12]. Эти реки относятся к внутрикарстовым с преобладанием дренажа подземных вод [15].

По степени влияния сульфатных карстовых вод на расходы и химический состав воды малые реки подразделяются на 6 типов (рис. 23).

Таблица 4

Влияние гипсового карста на ландшафт и хозяйственную деятельность человека

| Компоненты ландшафта | Направление процесса | Следствие процесса | Характерные элементы ландшафта | Влияние на хозяйственную деятельность |
|---------------------------------|----------------------|---|---|---|
| Горные породы: гипсы, ангидриты | Вынос | Частичное или полное выщелачивание пород | Почвы небольшой мощности
Локальное увеличение мощности рыхлых отложений
Карстовые брекчии
Карстовые воронки, провалы, котловины, рвы, депрессии
Своеобразный микроклимат
Пятнистый растительный покров
Пещеры | Неблагоприятные инженерно-геологические условия
Сокращение площади пахотных земель
Осложнения с применением техники в сельском и лесном хозяйствах
Ухудшение качества леса
Рекреационное и другое использование |
| Поверхностные и подземные воды | Аккумуляция | Концентрация в воде SO_4^{2-} и Ca^{2+} ; выпадение из воды CaCO_3 | Карстовые озера | Использование для разведения водоплавающих птиц, рыбоводства, редко для водоснабжения |
| | | | Перевод поверхностного стока в подземный
Малые реки сульфатного состава
Карстовые источники сульфатного состава
Локальная обводненность
Сульфатные карстовые воды
Сульфатные грунтовые воды | Неблагоприятные условия водоснабжения |
| | | | Сероводородные грязи
Сероводородные воды | Использование в лечебных целях |

Таблица 5

Химический состав малых рек районов гипсового карста Пермской области, мг/л

| Проба | Река | Общая минерализация | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ +K ⁺ | Жесткость, мг-экв. |
|-------|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|---------------------------------|--------------------|
| 101 | Кишертка в д. Низкое | 1793 | 1009 | 250 | 14 | 431 | 48 | 10 | 25,5 |
| 103 | « | 2041 | 1162 | 281 | 11 | 496 | 55 | 6,7 | 29,2 |
| 114 | Сединка, выше устья | 1074 | 432 | 342 | 11 | 170 | 50 | 54 | 12,6 |
| 237 | Мазуевка, ниже плотины | 1804 | 1008 | 281 | 11 | 451 | 36 | 11 | 25,5 |
| 238 | Мазуевка в д. Мазуевка | 1741 | 973 | 262 | 18 | 445 | 33 | 2,8 | 25,0 |
| 372 | Лек, ниже устья Солянки | 1369 | 644 | 244 | 85 | 246 | 32 | 113 | 14,9 |
| 49 | Таз ниже д. Марково | 1141 | 475 | 317 | 7 | 204 | 82 | 31 | 14,3 |
| 70 | Таз, у д. Тимята | 1373 | 682 | 311 | 7 | 240 | 63 | 56 | 17,2 |
| 588 | Березовка, выше устья | 818 | 240 | 366 | 2 | 124 | 46 | 30 | 10,0 |
| 361 | Бырма | 1231 | 658 | 220 | 14 | 273 | 38 | 24 | 16,7 |
| 365 | Советянка, устье | 1179 | 552 | 317 | 11 | 234 | 63 | 2 | 16,9 |
| 1 | Полазна, створ I | 389 | 60 | 195 | 18 | 82 | 15 | 1,1 | 5,3 |
| 2 | Полазна, створ II | 1968 | 1013 | 183 | 7 | 393 | 36 | 48 | 22,6 |
| 3 | Добрянка, выше Ярино | 388 | 8 | 268 | 5 | 63 | 21 | 1,6 | 4,8 |
| 4 | Добрянка, ниже устья Яринки | 652 | 226 | 232 | 3 | 131 | 23 | 9 | 8,5 |
| 5 | Озерная, выше депрессии | 332 | 8 | 220 | 3 | 54 | 8,5 | 8 | 3,4 |
| 6 | Озерная, ниже депрессии | 606 | 206 | 220 | 3 | 134 | 19 | 2,3 | 8,3 |
| 20 | Сылва, д. Посад | 350 | 43 | 171 | 28 | 76 | 13 | 0,4 | 4,9 |
| 127 | Сылва, ниже устья Кишертки | 447 | 121 | 159 | 28 | 82 | 13 | 25 | 5,2 |

Анализы 1–6 произведены летом 1967 г. [2]

1. Реки, начало которым дают сульфатные карстовые источники. Ниже по течению появляются другие источники питания, что может привести к некоторому уменьшению минерализации рек. На значительном протяжении река имеет воду повышенной минерализации сульфатно-кальциевого состава. Примером является р. Кишертка.

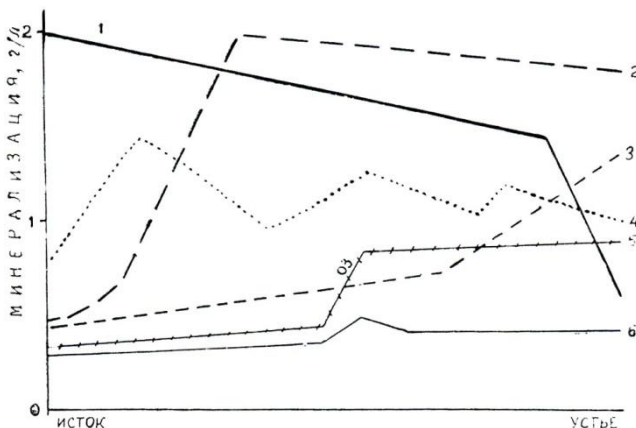


Рис. 23. Гидрохимические типы малых рек районов сульфатного карста

Исток р. Кишертки представляет восходящий источник на дне Низковской карстовой депрессии. При выходе из депрессии река принимает справа приток – р. Сединку, ниже устья которой она течет на север и впадает в р. Сылву у с. Усть-Кишерть. Расход р. Кишертки растет вниз по течению, от 26,8 до 63,6 л/сек (июль 1959 г.). Высокая минерализация (до 2 г/л) и сульфатный состав воды сохраняются на всем протяжении русла и только в устье наблюдается опреснение в связи с внедрением пресных вод р. Сылвы.

2. Реки, истоки которых представляют некарстовый источник с небольшим дебитом. Резкое увеличение расходов реки происходит несколько ниже истоков в месте впадения сульфатных источников. Здесь наблюдается также увеличение минерализации и изменение гидрохимической фации. Примером являются реки Мазуевка, Сединка и Полазна.

Р. Сединка – правый приток р. Кишертки протяженностью 8,3 км. В верховьях она питается родниками, вытекающими из мергелей поповской свиты кунгурского яруса. На этом участке минерализация воды составляет 0,5 г/л, состав гидрокарбонатно-кальциево-магниевый. Ниже пересечения карстовой котловины, на дне которой выходят воды с минерализацией до 1,6 г/л, минерализация реки увеличивается до 1,2 г/л, а преобладающей становится сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевая гидрофация. В устьевой части

в реку впадает 5 родников, не влияющих существенно на ее химический состав.

Мазуевка – левый приток р. Сылвы протяженностью около 6 км. Начало ей дают родники, вытекающие из мергелей поповской свиты с общим дебитом 5,6 л/сек. Ниже по течению у подошвы левого высокого склона долины выходят многочисленные сульфатные источники. Расход реки и минерализация воды возрастают вниз по течению (рис. 24). В истоках минерализация около 0,5 г/л, а гидрохимическая фация – гидрокарбонатно-кальциевая. Ниже выхода карстовых источников минерализация возрастает до 1,8 г/л, а состав воды изменяется на сульфатно-кальциево-гидрокарбонатный. Вниз по течению наблюдается уменьшение минерализации до 1,5 г/л, что связано с притоком пресных вод р. Бруснянки и р. Ключевой, а также дренированием менее минерализованных грунтовых вод. Наибольший расход реки в летний период составлял 280 л/сек.

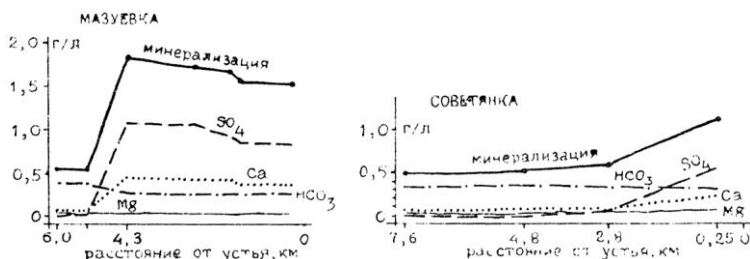


Рис. 24. Гидрохимические профили рек Мазуевки (тип 2) и Советники (тип 3)

Р. Полазна протяженностью 24,5 км впадает в Полазненский залив Камского водохранилища [2]. В приустьевой части она зарегулирована. В верхнем течении минерализация воды менее 0,5 г/л, состав гидрокарбонатно-кальциевый. Нижний отрезок характеризуется сульфатно-кальциевым составом и минерализацией до 1,8 г/л.

3. Реки, питающиеся в верхнем и среднем течении некарстовыми водами. Резкое возрастание расхода и изменение минерализации наблюдаются в нижнем течении за счет притока сульфатных карстовых вод.

Р. Советника протяженностью 7,6 км впадает в Суксунский пруд. Начало ей дают источники с небольшим дебитом, вытекающие из мергелей поповской свиты. Расход от истоков вниз по течению медленно растет от 0,7 до 18 л/сек. В нижнем течении в реку слева впадают карстовые источники, ниже которых расход резко возрастает и в устье составляет 257 л/сек. В верховьях и среднем течении вода имеет минерализацию около 0,5 г/л и относится к гидрокарбонатно-

кальциево-магниево-гидрохимической фации. Ниже выхода сульфатных источников минерализация увеличивается до 1,1 г/л, а состав воды изменяется на сульфатно-гидрокарбонатно- кальциевый (рис. 24).

4. Реки, питающиеся как карстовыми, так и некарстовыми водами. Сульфатные карстовые источники с небольшим дебитом вызывают повышение минерализации воды на коротком отрезке течения ниже их впадения. Минерализация воды изменяется скачкообразно. К данному типу относятся реки Таз, правый приток р. Сылвы, протяженностью 26 км с зарегулированным стоком (рис. 25).

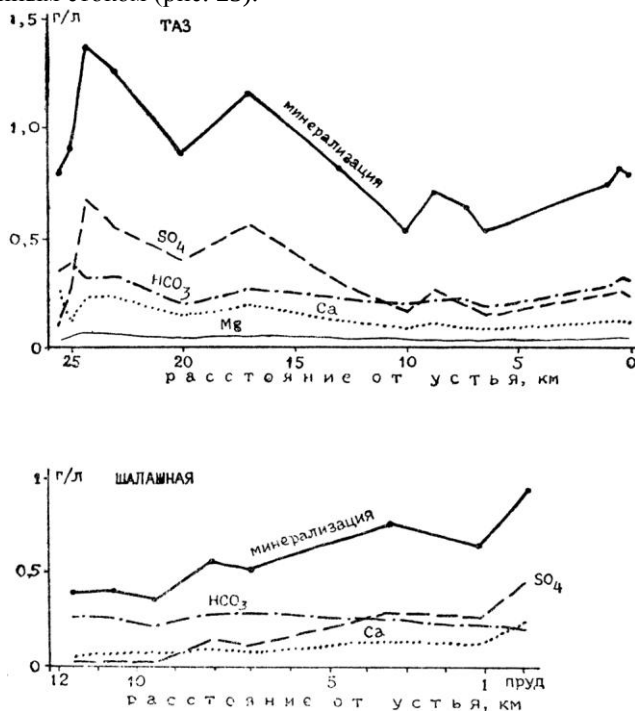


Рис. 25. Гидрохимические профили рек Таз и Шалашная (тип 4)

Р. Таз на всем протяжении имеет повышенную минерализацию воды. В среднем течении преобладает сульфатно-гидрокарбонатнокальциевая гидрофация, а вблизи устья гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевая. Минерализация повышается скачкообразно за счет увеличения содержания в воде сульфатов в местах выхода карстовых вод. Понижение минерализации отмечается ниже прудов.

Р. Шалашная протяженностью 12 км впадает в Чусовской залив Камского водохранилища, имеет зарегулированный сток [2]. Исток представляет восходящий источник. Минерализация увеличивается от истоков к устью от 0,4 до 0,9 г/л, особенно в местах выхода

сульфатных источников с минерализацией до 2 г/л (рис. 25). На одном из участков в русле отмечено поглощение воды.

5. Реки, текущие через озерные карстовые депрессии, в пределах которых увеличивается минерализация и изменяется состав речных вод. Примером являются реки Озерная и Талая в центральной части Пермской области [2].

Р. Озерная (протяженность около 8 км) течет через оз. Большое на дне Озерной депрессии, на склонах и дне которой вытекают сульфатные источники с минерализацией 1,5–1,8 г/л, повышающие минерализацию речной воды (табл. 5).

6. Реки с минерализацией не более 1 г/л и локальным влиянием сульфатных карстовых вод на их состав. Примером являются реки Березовка, Добрянка – с подпитыванием сульфатными водами, и р. Пожва – хлоридно-натриевыми.

Р. Березовка – левый приток р. Шаквы, протяженностью 12,5 км. Минерализация реки изменяется от 0,5 до 0,9 г/л, а содержание сульфатного иона соответственно от 27 до 317 мг/л. Гидрохимическая фация в истоках гидрокарбонатно-кальциево-магниева, на остальном протяжении преобладает гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевая. В 1,5 км от устья в реку впадают два родника с минерализацией воды 1,3 г/л.

Таким образом, детальные гидрохимические исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Малые реки районов сульфатного карста отличаются небольшими расходами, не превышающими обычно 200–800 л/сек, высокой минерализацией воды (до 2 г/л), сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевым или гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевым составом на всем протяжении или на отдельных участках.

2. Расходы рек, минерализация и состав воды резко меняются в местах выхода карстовых вод.

3. Изучение гидрохимических профилей карстовых рек позволяет выявить участки разгрузки карстовых вод.

4. Состав воды малых рек является показателем активности карста и интенсивности химической денудации.

Влияние гипсового карста на химический состав озер-стариц

В районах активного гипсового и соляного карста озера-старицы, расположенные в наиболее пониженных участках рельефа на поймах и аккумулятивных террасах речных долин, часто являются местами разгрузки карстовых вод. Химический состав и минерализация таких озер определяются долей участия карстовых вод в их питании (табл. 6). Влияние гипсового карста на формирование вод озер-стариц можно проследить на примере карстовых районов Пермской области.

На основе данных 209 химических анализов из 104 старичных озер [9] установлено, что при минерализации менее 0,5 г/л вода

Таблица 6

Химический состав озер-стариц районов гипсового карста Пермской области, мг/л

| Проба | Местоположение или название | Общая минерализация | SO_4^{2-} | HCO_3^- | Cl^- | Ca^{2+} | Mg^{2+} | $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ | Жесткость, мг-экв. |
|-------|-----------------------------|---------------------|--------------------|------------------|---------------|------------------|------------------|----------------------------|--------------------|
| 554 | Д. Шумково | 1692 | 1057 | 122 | 21 | 345 | 70 | 47 | 23,0 |
| 553 | « | 1854 | 1129 | 195 | 7 | 401 | 61 | 48 | 25,0 |
| 683 | В долине р. Шаквы | 471 | 110 | 238 | 5 | 98 | 14 | 0,7 | 6,1 |
| 684 | « | 612 | 274 | 171 | 3,5 | 112 | 30 | 14 | 8,1 |
| 35 | Мишуткино в с. Усть-Кишерть | 533 | 259 | 110 | 14 | 83 | 13 | 58 | 5,2 |
| 36 | Оброчное | 680 | 394 | 195 | 21 | 128 | 66 | 2,9 | 11,8 |
| 39 | Сысово | 346 | 115 | 116 | 14 | 40 | 12 | 41 | 3,0 |
| 110 | Каравашек | 941 | 346 | 354 | 7 | 188 | 46 | — | 13,2 |
| 34 | Кислое, северная часть | 1440 | 913 | 123 | 21 | 285 | 87 | 4 | 21,4 |
| 1 | Кислое, южная часть | 2205 | 1357 | 220 | 32 | 456 | 100 | 39 | 31,0 |
| 19 | Камышовое | 118 | 9,6 | 73 | 7 | 12 | 7 | 8 | 1,2 |

имеет гидрокарбонатно-кальциево-сульфатный или гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый состав. При минерализации более 0,5 г/л преобладают сульфатно-кальциево-гидрокарбонатные гидрофации, к которым относится около 20 % обследованных озер в Соликамском, Чусовском, Кунгурском, Березовском и Кишертском озерных районах, совпадающих с районами гипсового и соляного карста. Единичные озера, где наблюдается подток хлоридно-натриевых соленых вод, относятся к хлоридной гидрофации. 28 % озер имеют минерализацию свыше 0,5 г/л и 17 % – более 1 г/л.

В окрестностях с. Усть-Кишерть на первой террасе р. Сылвы в районе интенсивного гипсового карста расположена группа озер-стариц, причем наибольшее из них – Лапаево имеет длину 2,5 км и ширину 80 м. Площадь и глубина оз. Кислое соответственно 87 тыс. м² и 2,1 м [14], Оброчного – 33 тыс. м² и 1,2 м, Сысово – 27 тыс. м² и 3,2 м и Мишуткино – 24 тыс. м². Вблизи оз. Камышовое расположены карстовые озера – Круглое (108×96,8 м) глубиной 12,8 м и Головка (63,0×58,6 м) глубиной 8,6 м. Озера питаются атмосферными осадками, подземными и в высокие половодья речными водами. В питании некоторых озер значительную роль играют карстовые воды [6, 7].

Минерализация воды изменяется от 118 мг/л в оз. Камышовое

до 1807 мг/л в оз. Кислое. Основными ионами являются гидрокарбонатный, кальциевый, сульфатный. При увеличении минерализации происходит следующая смена гидрохимических фаций: гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевая, сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевая, сульфатно-кальцево-гидрокарбонатная (рис. 26). В заболоченных озерах, таких как Фомичевское, Травяное, появляются гидрокарбонатно-сульфатно-натриевые гидрофации.

Рис. 26. Зависимость между минерализацией, содержанием ионов и отложением карбоната кальция для озер- стариц окрестностей с. Усть-Кишерть

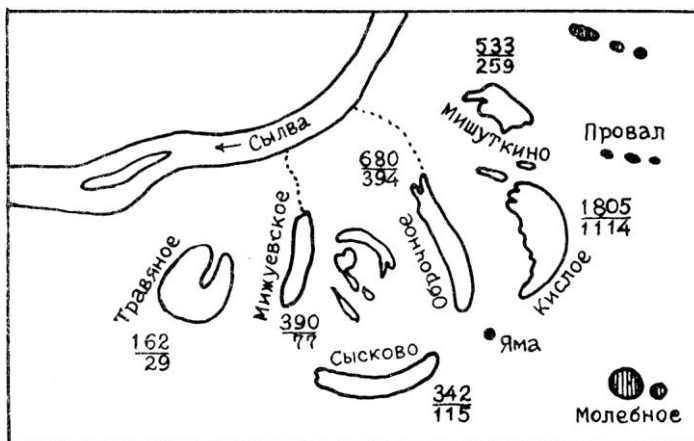
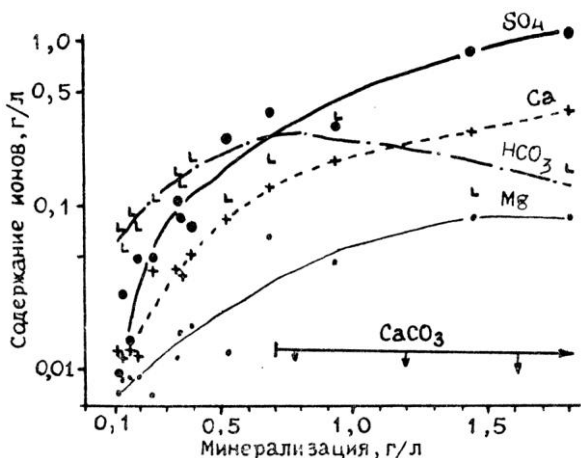


Рис. 27. Старичные озера в с. Усть-Кишерть. Цифры означают: в числителе — минерализация в мг/л, в знаменателе — содержание сульфатного иона

Содержание сульфатного иона в озерной воде колеблется от 9 до 1114 мг/л. Наиболее высокое содержание его отмечено в озерах

Кислое, Мишуткино, Оброчное, расположенных на участках активного гипсового карста (рис. 27). На дне оз. Кислое в юго-восточной части вытекал сульфатный источник. Увеличение содержания сульфатов в воде отражается и на других ее свойствах. Озера с малой минерализацией и содержанием сульфатного иона менее 60 мг/л имеют очень мягкую воду. С ростом минерализации и содержания сульфатного иона вода становится умеренно жесткой и очень жесткой.

Наиболее интересно в гидрохимическом отношении оз. Кислое, одним из источников питания которого являются карстовые воды. На выходы родников в озере неоднократно указывали местные жители. Минерализация озерной воды летом составляет 1,5–1,8 г/л, зимой она повышается до 2,1 г/л, гидрохимическая фация – сульфатно-кальциевая. Вода по составу аналогична карстовому источнику, вытекающему в воронке у д. Зуево. Дно озера сложено растительным детритом с раковинами, подстилаемым черным маслянистым, сильно пахнущим сероводородом, илом мощностью до 1,8 м. Этот ил использовался в качестве лечебной грязи. Основным компонентом кристаллического скелета грязи является карбонат кальция [14]. Анализ грязи оз. Кислое подтверждает вывод о частичном выпадении карбонатов кальция в осадок в озерах с сульфатной водой.

Детальные исследования позволили установить, что озера-старицы могут быть местом разгрузки сульфатных карстовых вод. Такие озера отличаются рядом особенностей: 1) наличием воронок и восходящих источников на дне; 2) повышенной минерализацией и высоким содержанием сульфатов в воде; 3) образованием на дне минеральных сероводородных грязей – сероводород является продуктом восстановления сульфатов воды при участии микроорганизмов; 4) отложением карбонатных илов – карбонаты кальция выпадают на определенной стадии минерализации сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевых вод.

Влияние гипсового карста на химический состав грунтовых вод

Грунтовые воды – это постоянный ненапорный водоносный горизонт, залегающий на первом от поверхности относительно водонепроницаемом слое, питающийся за счет атмосферных осадков. Химический состав грунтовых вод формируется под влиянием климатических факторов и подвержен широтной зональности [13]. В районах гипсового карста на отдельных участках карстовые воды подпитывают грунтовые, оказывая прямое влияние на их химический состав. На таких участках увеличивается минерализация, повышается содержание сульфатного иона, появляются сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые или сульфатно-кальциево-гидрокарбонатные гидрофации (табл. 7). От мест разгрузки карстовых вод

Таблица 7

**Химический состав грунтовых вод районов гипсового карста Пермской области
(в мг/л)**

| Проба | Населенный пункт | Общая минерализация | SO ₄ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ +K ⁺ | Общая жесткость, мг-экв. | Глубина до воды, м |
|-------|------------------|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 146 | Зуево | 2159 | 1033 | 458 | 53 | 421 | 85 | 71 | 28,0 | 2,9 |
| 143 | « | 1681 | 394 | 500 | 170 | 333 | 61 | 50 | 21,6 | 3,7 |
| 128 | Низкое | 1227 | 399 | 396 | 60 | 188 | 30 | 118 | 11,9 | 6,0 |
| 130 | « | 1085 | 269 | 451 | 57 | 192 | 41 | 44 | 13,0 | 3,1 |
| 3 | Посад | 1252 | 187 | 519 | 57 | 220 | 30 | 71 | 13,5 | 9,7 |
| 4 | « | 1686 | 360 | 494 | 177 | 297 | 86 | 48 | 22,0 | 1,4 |
| 5 | « | 1461 | 245 | 537 | 160 | 316 | 21 | 62 | 17,5 | 0,9 |
| 8 | « | 1796 | 487 | 482 | 188 | 380 | 39 | 79 | 22,5 | 4,9 |
| 284 | Мазуевка | 1219 | 384 | 451 | 17 | 281 | 12 | 34 | 15,0 | |
| 524 | Березовка | 2141 | 336 | 708 | 220 | 325 | 83 | 129 | 22,8 | 4,1 |
| 530 | « | 1764 | 336 | 567 | 174 | 291 | 79 | 89 | 21,0 | 6,9 |
| 533 | « | 1099 | 250 | 390 | 21 | 160 | 34 | 89 | 10,8 | |
| 535 | « | 1681 | 468 | 372 | 128 | 321 | 88 | 17 | 23,3 | 2,9 |
| 569 | « | 1734 | 480 | 766 | 167 | 313 | 90 | 177 | 23,0 | 4,2 |
| 646 | Пирожково | 1758 | 653 | 342 | 117 | 330 | 77 | 57 | 22,8 | 3,9 |
| 79 | Усть-Кишерть | 1055 | 365 | 342 | 32 | 220 | 45 | 1,5 | 14,7 | 6,2 |
| 50 | « | 1192 | 394 | 390 | 28 | 162 | 50 | 103 | 12,2 | 8,8 |
| 55 | « | 1925 | 595 | 403 | 113 | 374 | 50 | 93 | 22,8 | 5,0 |

вниз по грунтовому потоку минерализация постепенно уменьшается. Подобные явления установлены для ряда населенных пунктов Пермской области, расположенных в районах гипсового карста [7, 8, 11, 16–18].

Л. А. Шимановский [21] выделяет 5 гидрохимических типов грунтовых вод аллювиальных и элювиально-делювиальных отложений в районах распространения гипсов кунгурского яруса пермской системы на юго-востоке Пермской области. Преобладают два типа: 1 – зональные гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией менее 1 г/л, 2 – сульфатно-кальциевые воды с минерализацией 1–3 г/л, обусловленные выщелачиванием гипса и подтоком сульфатных карстовых вод (рис. 28).

В районе г. Кунгура минерализация грунтовых вод над гипсами повышается до 1,5–2,8 г/л [11]. В районе г. Дзержинска в окрестностях оз. Свято наблюдается значительный подток минерализованных

карстовых вод в грунтовые воды аллювиальных отложений [1]. Н. А. Прозорова [19] выявила в этом районе несколько очагов разгрузки карстовых вод, в пределах которых минерализация и содержание сульфатов в грунтовых водах возрастают. В карстовых районах Башкирии на участках разгрузки карстовых вод из кунгурских гипсов минерализация грунтовых вод увеличивается до 2,5–3,5 г/л [20]. В долине р. Ангары грунтовые воды аллювиальных отложений в местах подтока карстовых вод имеют минерализацию 1,5–3 г/л [3]. Н. М. Кухарев [10] выделяет на Двинско-Мезеньском междуречье полосу подземных вод с высоким содержанием сульфатного иона.

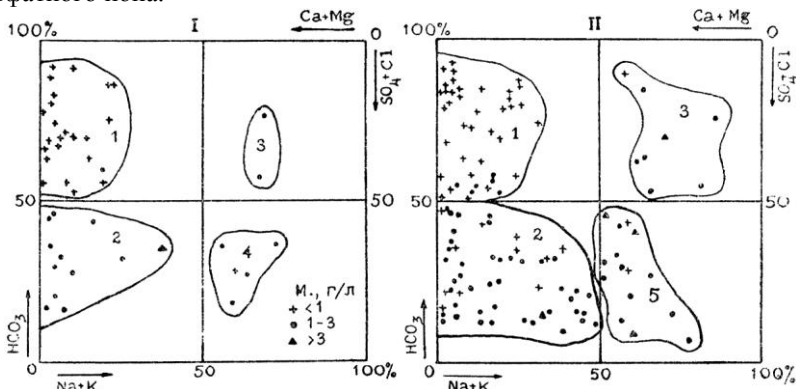
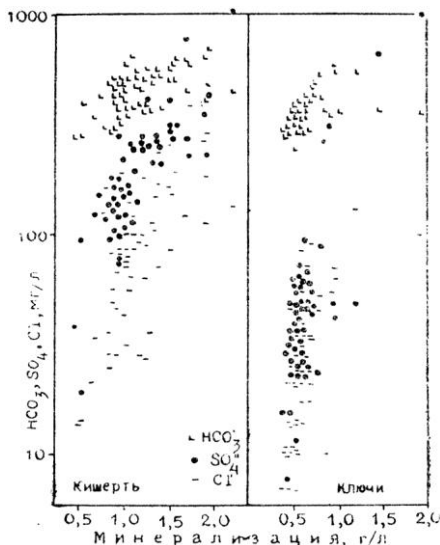


Рис. 28. График Н. И. Толстихина для грунтовых вод аллювиальных (I) и элювиальных (II) отложений: 1 – зональные HCO_3 –Ca воды; 2 – SO_4 –Ca воды в местах выщелачивания гипса и подтока сульфатных карстовых вод; 3 – воды с повышенным содержанием хлора за счет загрязнения; 4 – воды с повышенным содержанием хлора за счет выщелачивания каменной соли и подтока хлоридных карстовых вод; 5 – воды с повышенным содержанием натрия за счет процессов обменной адсорбции [21]

Влияние сульфатного карста на химический состав грунтовых вод можно проследить на примере Кишертско-Суксунского карстового района, где обследовано 510 колодцев, вскрывающих грунтовые воды аллювиальных, местами элювиально-делювиальных и пролювиальных отложений. Минерализация грунтовых вод 110–3076 мг/л, причем в 367 колодцах она менее 1 г/л. Причинами высокой минерализации являются бытовое загрязнение и подток сульфатных карстовых вод с минерализацией 2–3 г/л. Основными компонентами грунтовых вод являются HCO_3 , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ + K^+). Гидрокарбонатный ион содержится в количестве 49–952 мг/л. Сульфатный ион не обнаружен только в двух пробах. В местах подтока в грунтовые воды карстовых вод в

с. Усть-Кишерть содержание его составляет 100–200 мг/л, а в некоторых колодцах достигает 1017 мг/л. Подобное же явление установлено для с. Березовка. В с. Б. Ключи, где грунтовые воды питаются пресными гидрокарбонатными карстовыми водами из карбонатных отложений, содержание сульфатного иона обычно не превышает 100 мг/л и только в единичных колодцах достигает 1 г/л (рис. 29).

Рис. 29. Содержание ионов гидрокарбонатного, сульфатного и хлоридного в грунтовых водах с. Усть-Кишерть и с. Б. Ключи



Ион хлора обнаружен в водах всех колодцев в количестве 7–589 мг/л в зависимости от степени загрязнения. В районе д. Шумково, где возможно подпитывание грунтовых вод водами более глубоких горизонтов, омывающих соляные залежи, концентрация его достигает 156 мг/л.

Содержание иона кальция составляет 8–450 мг/л, причем в большей части колодцев с. Б. Ключи 60–150, с. Березовка и пос. Суксун 100–200, с. Усть-Кишерть 150–400 мг/л. Более высокое содержание иона кальция в колодцах с. Усть-Кишерть объясняется подтоком сульфатных карстовых вод и загрязнением. Содержание ионов натрия (и калия) обычно не превышает 100 мг/л, возрастая в местах бытового загрязнения и подтока глубинных вод.

Жесткость колеблется от десятых долей до 36 мг-экв. Значительная часть колодцев (89,6 %) имеет жесткую и очень жесткую воду. Наибольшей жесткостью отличаются грунтовые воды с. Усть-Кишерть, где они подпитываются очень жесткими карстовыми водами из сульфатных отложений. От мест подпитывания жесткость закономерно уменьшается вниз по грунтовому потоку.

Кишертско-Суксунский карстовый район относится к зоне преобладания

гидрокарбонатно-кальциевых гидрохимических фаций грунтовых вод лесного пояса умеренного климата [13]. Влияние местных факторов – литологического, гидрогеологического и антропогенного – приводит к появлению не типичных для данной климатической зоны гидрохимических фаций. На участках развития сульфатных пород, подстилающих грунтовые воды, и в местах подтока сульфатных карстовых вод появляются сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые, гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые гидрофации.

Для грунтовых вод ряда населенных пунктов – поселка Суксун, сел Березовка, Усть-Кишерть, Б. Ключи, деревень Мазуевка, Шумково – были составлены карты минерализации, содержания сульфат-иона, жесткости, гидрохимических фаций, загрязнения. Они позволили выявить влияние карста на химический состав грунтовых вод и уточнить места подземной разгрузки карстовых вод.

С. Березовка расположено на левобережье р. Шаквы, в месте впадения в нее р. Березовки. Грунтовые воды залегают в аллювиальных галечниках и песках на глубине 5–8 м. Минерализация грунтовых вод составляет 430–2316 мг/л, при преобладающей 700–1200 мг/л. Содержание сульфатного иона в большей части колодцев находится в пределах 100–500 мг/л. Повышенное содержание сульфатов отмечается вблизи рек, где, вероятно, происходит разгрузка карстовых вод из загипсованных отложений в грунтовый поток. Наиболее жесткая вода наблюдается вблизи р. Березовки. В большей части колодцев жесткость составляет 10–20 мг-экв. Грунтовые воды относятся преимущественно к двум гидрофациям: $\text{HCO}_3\text{--Ca--SO}_4$ и $\text{HCO}_3\text{--SO}_4\text{--Ca}$, реже к $\text{HCO}_3\text{--Ca--Mg}$ и на участке непосредственной разгрузки карстовых вод $\text{SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Ca}$.

Район с. Б. Ключи расположен в долине р. Иргины. Грунтовые воды приурочены к аллювию низкой аккумулятивной террасы и местами к элювиальным отложениям тыловых частей террасы и склонов. В долине разгружаются как в виде источников, так и в аллювий с запада карстовые воды из карбонатных отложений Уфимского вала, а с востока – из сульфатных пород. Зеркало грунтовых вод залегает в долине на глубине 1,8–2,8 м, в тыловых частях террасы 3,4–5,8 м и в нижних частях склонов 6,5–18,7 м.

Минерализация воды не превышает 1 г/л и только в одном колодце достигает 1,9 г/л. Содержание сульфатного иона в большей части колодцев составляет 26–100 мг/л. Подток сульфатных карстовых вод установлен в колодце, расположенном вблизи уступа высокой закарстованной террасы. Здесь содержание сульфатного иона достигает 1013 мг/л. В сторону р. Иргины происходит разбавление сульфатных вод гидрокарбонатными, что сопровождается уменьшением содержания сульфатного иона и минерализации, изменением гидрохимической фации. Только в трех колодцах жесткость составляет 3–6 мг-экв, в остальных вода жесткая или очень

жесткая. В колодце, где наблюдается подток сульфатных карстовых вод, она достигает 27 мг-экв. Грунтовые воды в основном относятся к гидрокарбонатно-кальциево-сульфатной гидрофации. На участке подтока в грунтовые воды карстовых вод из гипсов выделяется поле сульфатно-кальциевой гидрофации.

С. Усть-Кишерть расположено на I и II террасах р. Сылвы и ее притока – Кишертки. Под толщей аллювия здесь залегают гипсы и ангидриты, а в западной части мергели и доломиты. Воды гипсового карста с минерализацией 1,8–2,5 г/л дают источники у д. Зуево и в оз. Кислое. Они вскрыты также скважинами. Грунтовые воды приурочены к пескам и галечникам, залегающим в основании аккумулятивных террас. Глубина их залегания на первой террасе 2,6–6,3, на второй – 6–11 м. По данным химических анализов проб воды из 59 колодцев минерализация грунтовых вод изменяется от 463 мг/л до 2,2 г/л, увеличиваясь в центральной части с. Усть-Кишерть за счет бытового загрязнения и в местах подтока сульфатных карстовых вод.

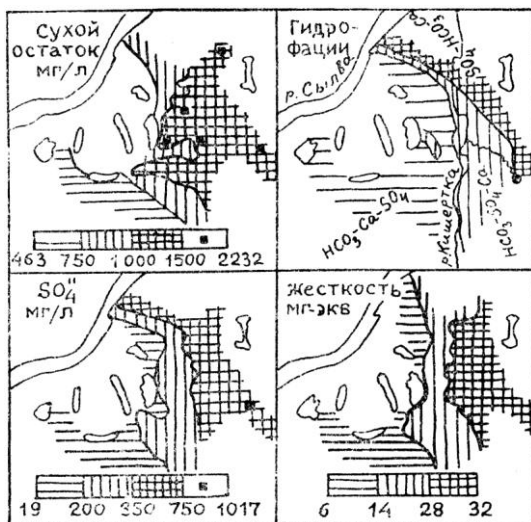


Рис. 30. Гидрохимия грунтовых вод с. Усть-Кишерть

Наиболее высокое содержание сульфатного иона отмечено в колодцах д. Зуево (до 1017 мг/л), а также вблизи р. Кишертки (более 350 мг/л). Западнее содержание его уменьшается до 200 мг/л. Изменение величины жесткости в основном соответствует изменению содержания сульфат-иона. Жесткость более 28 мг-экв. отмечается у д. Зуево и по р. Кишертке. К западу она уменьшается до 14 мг-экв. Грунтовые воды относятся в основном к трем гидрохимическим фациям (рис. 30). В д. Зуево и на с.-з. от нее находится поле сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевой гидрофации, обусловленное

разгрузкой карстовых вод в грунтовые. Ниже по грунтовому потоку, по правому и левому берегам р. Кишертки, оно сменяется полем гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевых вод. В остальной части с. Усть-Кишерть преобладает гидрокарбонатно-кальцево-сульфатная гидрофация.

На основе детальных исследований установлены основные особенности грунтовых вод районов гипсового карста.

1. Грунтовые воды питаются не только атмосферными осадками, но и карстовыми водами, поступающими в водоносный горизонт снизу или сбоку. В местах подтока карстовых вод увеличивается водообильность, изменяются минерализация и химический состав грунтовых вод. Гидравлическая связь грунтовых и карстовых вод устанавливается на участках, где водоносные отложения залегают на гипсах.

2. Наряду с сезонными колебаниями проявляются эпизодические изменения уровня грунтовых вод, связанные с карстовыми провалами. Примером может быть с. Усть-Кишерть, где в 1949 г. после карстового провала вода из колодцев, расположенных выше по грунтовому потоку, на некоторое время исчезла. Затем уровень ее постепенно восстановился.

3. В областях с достаточным увлажнением в хорошо проницаемых отложениях общая минерализация грунтовых вод, как правило, увеличивается на закарстованных участках, в местах подтока карстовых вод из сульфатных и соленосных отложений.

4. В местах подтока сульфатных вод появляются сульфатно-кальциевые, сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией 1–3 г/л. На таких участках изменяются и другие свойства воды – жесткость, загрязненность, окисляемость и др.

5. Жесткие сульфатно-кальциевые воды с минерализацией 1–3 г/л не пригодны для питьевого водоснабжения.

6. При наличии переуглубленных долин, врезанных в гипсоангидритовые породы, грунтовые воды древних аллювиальных отложений могут питать карстовые воды, особенно в половодье.

7. На участках, где устанавливается гидравлическая связь между карстовыми и грунтовыми водами, наблюдается активизация карста, возникновение провалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетанова М. Г. Предварительные данные по изучению баланса грунтовых вод в районе г. Дзержинска. В кн.: Вопросы изучения карстовых явлений в районе г. Дзержинска. М., Изд. АН СССР, 1962.
2. Бутырина К. Г. Химическая география малых рек центральной части Пермской области. В сб.: Гидрогеология и карстование. Пермь, 1974.
3. Вологодский Г. П. Карст Южного Приангарья. В кн.: О. В. Павлов, Г. П. Вологодский, Ф. Н. Лещиков. Инженерно-геологические особенности Приангарского промышленного района и их значение для строительства. М., «Наука», 1965.

4. Горбунова К. А. Химическая география рек Пермской области. Р. Кишертка. В сб.: Докл. Пятого всесуральского совещания по вопросам географии и охраны природы Урала. Пермь, 1960.
5. Горбунова К. А. Химическая география рек Пермской области. Река Мазуевка и Советника. В сб.: Химическая география, вып. 1. Пермь, 1961.
6. Горбунова К. А. Влияние гипсового карста на химический состав вод озер-старич. В сб.: Химическая география и гидрогеохимия, вып. 2(3). Пермь, 1963.
7. Горбунова К. А. Особенности гипсового карста. Пермь, 1965.
8. Горбунова К. А., Иконников Е. А. Особенности формирования грунтовых вод карстовых областей. В сб.: Химическая география и гидрогеохимия, вып. 3(4). Пермь, 1964.
9. Горбунова К. А., Ященко Р. В. Озера-старичи. В кн.: Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967.
10. Кухарев Н. М. Карст Двинско-Мезеньского междуречья. Изв. ВУЗ, геология и разведка, 1968, № 12.
11. Лукин В. С., Ежов Ю. А. Карст и строительство в районе Кунгура. Пермское кн. издат., 1975.
12. Лушников Е. А., Кротова Е. А., Жидкова Г. Г. Химическая география речных вод. В кн.: Химическая география вод и гидрогеохимия Пермской области. Пермь, 1967.
13. Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географгиз, 1955.
14. Максимович Г. А. Озеро Кислое в Кишертском районе Пермской области и его происхождение. Уч. зап. Пермского ун-та, т. VII, вып. 4, 1956.
15. Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. II. Пермь, 1969.
16. Максимович Г. А., Горбунова К. А. Подземные воды с. Усть Кишерт и их загрязнение. В сб.: Докл. V Всесуральского совещания по вопросам географии и охраны природы Урала. Пермь, 1960.
17. Максимович Г. А., Горбунова К. А., Оскотский А. М. Гидрохимические фации и загрязнение подземных вод селения Березовка. В сб. Химическая география и гидрогеохимия, вып. 2(3). Пермь, 1963.
18. Максимович Г. А., Горбунова К. А., Ященко Р. В. Особенности химического состава грунтовых вод района селения Ключи В сб.: Химическая география и гидрогеохимия, вып. 2(3). Пермь, 1963.
19. Прозорова Н. А. О разгрузке напорных подземных вод в долине р. Оки у г. Дзержинска. В сб.: Вопросы изучения карстовых явлений в районе г. Дзержинска. М., Изд. АН СССР, 1962.
20. Толстунова Н. Н., Верзаков М. С. Воды кайнозойских и мезозойских отложений Волго-Камского артезианского бассейна. В кн.: Гидрогеология СССР, т. XV, ч. 2, гл. VI. М., «Недра», 1972.
21. Шимановский Л. А. Подземные воды сельскохозяйственных районов юго-востока Пермской области и возможности их использования. Пермь 1958.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Галогенные формации с преобладанием в разрезе гипса и ангидрита или с подчиненной их ролью широко распространены на территории СССР. Сами гипсовые породы применяются в сельском хозяйстве для гипсования почв, в медицине, строительстве.

Гипсы легко карстуются, что приводит к образованию воронок, провалов на поверхности и полостей в толще пород. Сильно закарстованные

участки неблагоприятны для строительства. Высокая по сравнению с карбонатными породами растворимость гипсов и ангидритов в природных условиях приводит к формированию минерализованных сульфатных, не пригодных для питья, подземных вод, что создает трудности при решении вопросов водоснабжения в районах активного сульфатного карста.

Совершенно очевидна необходимость обобщения материала по морфологии и гидрогеологии территорий, сложенных гипсами и ангидритами. Исследования последних лет показали, что некоторые закономерности, установленные для карбонатного карста, не применимы к гипсовому. Не изучен вопрос о влиянии сульфатов кальция на течение карста в загипсованных карбонатных породах.

Указанные вопросы являются первостепенными при дальнейшей разработке теории гипсового карста.

РЕФЕРАТ

УДК 551.44

Г о р б у н о в а К. А. Карст гипса СССР. Изд. Пермского ун-та, 1977, с. 84.

В учебном пособии освещены три проблемы: 1) карстующиеся породы: гипсы, ангидриты, их состав, текстуры и структуры, закономерности стратиграфического размещения и распространения на территории СССР; растворимость гипса и ангидрита; 2) геологические и гидрогеологические закономерности распространения карста галогенных формаций (гипса, ангидрита и каменной соли) на территории СССР. Более подробно рассмотрен гипсовый карст Русской платформы и Северного Кавказа; 3) влияние гипсового карста на состав поверхностных (малых рек, озер-старич) и подземных (грунтовых) вод.

Пособие рассчитано на студентов вузов специальности гидрогеология и инженерная геология, физическая география, а также геологов, инженеров-геологов и гидрогеологов, ведущих изыскания в карстовых районах.

Табл. 7, илл. 30, библи. 206.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 5 |
| ГИПСО-АНГИДРИТОВЫЕ ПОРОДЫ | 7 |
| Гипс и ангидрит, их генезис | 8 |
| Закономерности распространения галогенных формаций | 12 |
| Растворимость гипса и ангидрита | 17 |
| Список литературы | 21 |
| ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ | |
| КАРСТА ГАЛОГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ | 23 |
| Северодвинская область гипсового карста | 26 |
| Прибалтийская область гипсового карста | 30 |
| Волго-Камская область гипсового, карбонатно-гипсового и соляного | |
| карста | 33 |
| Притиманская область гипсового и карбонатно-гипсового карста | 43 |
| Прикаспийская область соляного и гипсового карста | 44 |
| Днепроовско-Донецкая область соляного и гипсового карста | 50 |
| Приднестровская область гипсового карста | 53 |
| Закарпатская область соляного карста | 55 |
| Северокавказская область карбонатно-гипсового карста | 56 |
| Список литературы | 59 |
| ВЛИЯНИЕ ГИПСОВОГО КАРСТА НА ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ГРУНТОВЫЕ ВОДЫ | 65 |
| Малые реки районов гипсового карста | 65 |
| Влияние гипсового карста на состав озер-старич | 71 |
| Влияние гипсового карста на состав грунтовых вод | 74 |
| Список литературы | 80 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 81 |

Горбунова Клара Андреевна
КАРСТ ГИПСА СССР

Учебное пособие по спецкурсу

Редактор Е. А. Огиенко
Технический редактор *В. В. Чередник*
Корректор *Н. И. Стрекаловская*

Сдано в набор 24. III. 1977 г. Подписано к печати 9/VI 1977 г. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 1. Усл. печ. л. 5,25. Уч.-изд. л. 5,279. ЛБ06128. Тираж 1000 экз. Темплан 1977, поз. 801. Заказ 452. Цена 50 коп.

Редакционно-издательский отдел Пермского университета. 614022. Пермь, ул. Букирева, 15.

Книжная типография № 2 управления издательств, полиграфии и книжной торговли. 614001. Пермь, ул. Коммунистическая, 57.