Лабораторная работа № 4

Анализ химического состава подземных вод. Методы отбора проб. Методика построения гидрохимических диаграмм

1. Цель работы

Целью лабораторной работы является формирование у студентов практических навыков анализа химического состава подземных вод, определения их гидрохимического типа, оценки минерализации, а также построения простейших гидрохимических диаграмм по результатам химического анализа воды.

2. Задачи работы

В ходе выполнения лабораторной работы студент должен:

1. изучить основные требования к отбору проб подземных вод;
2. ознакомиться с правилами маркировки, хранения и транспортировки проб воды;
3. проанализировать химический состав подземных вод по основным ионам;
4. определить минерализацию воды;
5. перевести содержание ионов из мг/л в мг-экв/л;
6. рассчитать процентное содержание катионов и анионов;
7. определить химический тип подземной воды;
8. построить простую гидрохимическую диаграмму;
9. сделать вывод о составе, минерализации и возможных условиях формирования подземных вод.

3. Краткие теоретические сведения

Химический состав подземных вод формируется в результате взаимодействия воды с горными породами, атмосферными осадками, поверхностными водами, газами, органическим веществом и техногенными источниками загрязнения.

При движении подземных вод через водовмещающие породы происходит растворение минералов, ионный обмен, окислительно-восстановительные реакции, смешение вод различного происхождения. Поэтому химический состав воды является важным показателем гидрогеологических условий территории.

Основными компонентами химического состава подземных вод являются катионы и анионы.

К основным катионам относятся:

– кальций – Ca^{2+};

– магний – Mg^{2+};

– натрий – Na^{+};

– калий – K^{+}.

К основным анионам относятся:

– гидрокарбонаты – HCO_3^{-};

– сульфаты – SO_4^{2-};

– хлориды – Cl^-.

По преобладающим ионам выделяют различные химические типы подземных вод:

– гидрокарбонатно-кальциевые;

– гидрокарбонатно-магниевые;

– сульфатно-кальциевые;

– сульфатно-натриевые;

– хлоридно-натриевые;

– смешанные типы: гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, кальциево-магниевые, натриево-кальциевые и др.

Химический тип воды определяется по преобладающим анионам и катионам. В названии типа воды сначала указывается анионный состав, затем катионный состав.

Например:

– при преобладании HCO_3^- и Ca^{2+} вода называется гидрокарбонатно-кальциевой;

– при преобладании SO_4^{2-} и Ca^{2+} вода называется сульфатно-кальциевой;

– при преобладании Cl^- и Na^+ вода называется хлоридно-натриевой.

4. Практическое значение химического анализа подземных вод

Для студентов образовательной программы «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» анализ химического состава подземных вод имеет важное прикладное значение.

Гидрохимические данные используются при:

– оценке качества подземных вод;

– определении пригодности воды для питьевого, технического и хозяйственного использования;

– изучении условий питания и разгрузки водоносных горизонтов;

– выявлении взаимосвязи подземных и поверхностных вод;

– оценке степени минерализации и агрессивности вод;

– прогнозе коррозионного воздействия воды на оборудование и крепь скважин;

– выявлении возможного загрязнения подземных вод;

– изучении гидрогеологических условий месторождений полезных ископаемых;

– оценке обводненности горных выработок и карьеров.

В условиях разработки месторождений полезных ископаемых химический состав подземных вод может указывать на глубину циркуляции вод, степень их взаимодействия с породами, наличие сульфидного окисления, засоление, техногенное загрязнение или смешение вод различных горизонтов.

5. Основные требования к отбору проб подземных вод

Правильный отбор проб воды является важнейшим условием достоверности химического анализа. Ошибки при отборе, хранении или транспортировке проб могут привести к искажению результатов.

5.1. Общие правила отбора проб

Перед отбором пробы необходимо:

1. определить место отбора: скважина, колодец, родник, водопункт, горная выработка;
2. промыть или прокачать водопункт, если проба отбирается из скважины;
3. измерить полевые показатели воды;
4. подготовить чистую тару;
5. заполнить этикетку или журнал отбора проб;
6. обеспечить правильное хранение и транспортировку пробы.

5.2. Полевые показатели воды

При отборе пробы желательно определить следующие показатели:

– температуру воды;
– pH;
– электропроводность;
– общую минерализацию или TDS;
– прозрачность;
– цвет;
– запах;
– наличие осадка, пленки, газа или взвеси.

Эти показатели фиксируются сразу на месте отбора, так как они могут изменяться при хранении воды.

5.3. Требования к таре

Для общего химического анализа обычно используют чистые пластиковые или стеклянные бутылки объемом 0,5–1,5 л.

Основные требования:

– тара должна быть чистой;
– перед заполнением бутылку желательно 2–3 раза промыть исследуемой водой;
– бутылку заполняют почти до горлышка;
– пробу плотно закрывают крышкой;
– на бутылке указывают номер пробы и дату отбора.

Для специальных анализов могут требоваться отдельные емкости и консервация пробы. Например, для определения металлов воду часто фильтруют и консервируют кислотой. Для учебной лабораторной работы рассматривается общий химический анализ без специальных методов консервации.

5.4. Маркировка пробы

На этикетке пробы необходимо указать:

– номер пробы;
– место отбора;
– дату и время отбора;
– тип водопункта;
– глубину скважины или колодца;
– глубину до уровня воды;
– температуру воды;
– pH;
– минерализацию или электропроводность;
– фамилию исполнителя.

5.5. Журнал отбора проб воды

В полевом журнале фиксируются все сведения, необходимые для последующей интерпретации анализа.

Таблица 1 – Пример журнала отбора проб воды

№ пробы	Место отбора	Тип водопункта	Дата	Глубина, м	Уровень воды, м	T, °C	pH	EC, мкСм/см	TDS, мг/л	Примечание
1		Скважина								
2		Колодец								
3		Родник								

6. Классификация подземных вод по минерализации

Минерализация – это суммарное содержание растворенных минеральных веществ в воде. Она выражается в мг/л или г/л.

Для предварительной оценки минерализацию можно рассчитать, как сумму основных ионов:

$$M = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^{+} + K^{+} + HCO_3^{-} + SO_4^{2-} + Cl^{-}$$

где:

M – минерализация воды, мг/л;

Ca^{2+}, Mg^{2+}, $Na^{+} + K^{+}$, HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-} – содержание основных ионов, мг/л.

Для перевода минерализации из мг/л в г/л используется формула:

M, г/л = M, мг/л / 1000

По минерализации подземные воды подразделяются следующим образом:

Тип воды	Минерализация, г/л
Пресные	до 1
Слабосолоноватые	1–3
Солоноватые	3–10
Соленые	10–35
Рассолы	более 35

7. Перевод содержания ионов в мг-экв/л

Для правильного определения химического типа воды содержание ионов необходимо перевести из мг/л в мг-экв/л.

Формула перевода:

Сэкв = С / Э

где:

Сэкв – содержание иона, мг-экв/л;

С – содержание иона, мг/л;

Э – эквивалентная масса иона.

Эквивалентная масса определяется по формуле:

Э = А / z

где:

Э – эквивалентная масса иона;

А – молярная масса иона;

z – заряд иона.

Для учебных расчетов можно использовать готовые эквивалентные массы.

Таблица 2 – Эквивалентные массы основных ионов

Ион	**Эквивалентная масса**
Ca^{2+}	20,0
Mg^{2+}	12,2
$Na^{+} + K^{+}$	23,0
HCO_3^{-}	61,0
SO_4^{2-}	48,0
Cl^{-}	35,5

8. Расчет процентного содержания ионов

После перевода в мг-экв/л определяют процентное содержание каждого иона.

Для катионов расчет выполняется от суммы катионов:

Доля катиона, % = Сэкв катиона / ΣСэкв катионов × 100

Для анионов расчет выполняется от суммы анионов:

Доля аниона, % = Сэкв аниона / ΣСэкв анионов × 100

где:

Сэкв – содержание отдельного иона, мг-экв/л;

ΣСэкв – сумма катионов или сумма анионов, мг-экв/л.

Химический тип воды определяется по ионам, содержание которых составляет наибольшую долю в процентах. Если несколько ионов имеют значительное содержание, вода относится к смешанному типу.

9. Проверка ионного баланса

При анализе химического состава воды желательно проверить соответствие суммы катионов и суммы анионов. В идеальном случае они должны быть близки, так как раствор в целом электрически нейтрален.

Для учебной проверки используют ионную невязку:

Невязка, % = (Σкатионов – Σанионов) / (Σкатионов + Σанионов) × 100

где:

Σкатионов – сумма катионов, мг-экв/л;

Σанионов – сумма анионов, мг-экв/л.

Если невязка небольшая, результаты анализа можно считать согласованными для учебной обработки. Если невязка высокая, необходимо проверить исходные данные и расчеты.

10. Гидрохимические диаграммы

Гидрохимические диаграммы используются для наглядного изображения химического состава воды. Они позволяют быстро сравнить разные пробы, определить преобладающие ионы и установить гидрохимический тип воды.

В гидрогеологии применяются различные виды диаграмм:

– круговые диаграммы;

– столбчатые диаграммы;

– диаграммы-столбики катионов и анионов;

– диаграммы Пайпера;

– диаграммы Стиффа;

– диаграммы Шёллера;

– формула Курлова.

В данной лабораторной работе используется простая учебная диаграмма ионного состава. Она строится отдельно для катионов и анионов по процентному содержанию в мг-экв/л.

Порядок построения учебной гидрохимической диаграммы

1. Рассчитать содержание ионов в мг-экв/л.

2. Найти сумму катионов и сумму анионов.

3. Рассчитать процентное содержание каждого катиона и аниона.

4. Построить две столбчатые диаграммы:

– первая – катионный состав: Ca^{2+}, Mg^{2+}, $Na^{+} + K^{+}$;

– вторая – анионный состав: HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}.

5. По самому высокому столбику определить преобладающий катион и преобладающий анион.

6. Сформулировать химический тип воды.

Допускается построение диаграммы вручную на миллиметровой бумаге или в Excel.

11. Исходные данные

Для выполнения лабораторной работы используются результаты химического анализа пяти проб подземных вод.

Таблица 3 – Химический состав подземных вод, мг/л

№ пробы	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	pH	Температура, °C
1	80	18	23	356	24	18	7,2	10
2	70	24	35	244	96	36	7,5	12
3	120	37	207	183	480	178	7,4	16
4	40	24	368	122	144	532	7,1	18
5	140	36	230	122	384	355	7,6	15

12. Порядок выполнения работы

Этап 1. Определение минерализации воды

Для каждой пробы рассчитайте минерализацию как сумму основных ионов:

$M = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ + HCO_3^- + SO_4^{2-} + Cl^-$

Результат выразите в мг/л и г/л.

Заполните таблицу 4.

Таблица 4 – Определение минерализации воды

№ пробы	Сумма ионов, мг/л	Минерализация, г/л	Тип воды по минерализации
1			
2			
3			
4			
5			

Этап 2. Перевод содержания ионов в мг-экв/л

Для каждой пробы переведите содержание ионов из мг/л в мг-экв/л по формуле:

Сэкв = С / Э

Результаты внесите в таблицу 5.

Таблица 5 – Содержание ионов в мг-экв/л

№ пробы	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$	Σ катионов	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Σ анионов
1								
2								
3								
4								
5								

Этап 3. Расчет процентного содержания ионов

Для каждой пробы рассчитайте процентное содержание катионов и анионов.

Для катионов:

Доля катиона, % = Сэкв катиона / ΣСэкв катионов × 100

Для анионов:

Доля аниона, % = Сэкв аниона / ΣСэкв анионов × 100

Результаты внесите в таблицу 6.

Таблица 6 – Процентное содержание ионов

№ пробы	Ca^{2+}, %	Mg^{2+}, %	$Na^{+} + K^{+}$, %	HCO_3^{-}, %	SO_4^{2-}, %	Cl^{-}, %
1						
2						
3						
4						
5						

Этап 4. Определение химического типа воды

По преобладающим ионам определите химический тип каждой пробы. Заполните таблицу 7.

Таблица 7 – Определение химического типа воды

№ пробы	Преобладающий анион	Преобладающий катион	Химический тип воды
1			
2			
3			
4			
5			

Этап 5. Построение гидрохимической диаграммы

Для одной из проб, выбранной преподавателем, постройте гидрохимическую диаграмму.

Рекомендуется использовать пробу № 1 как пример для построения.

На диаграмме должны быть показаны:

– процентное содержание катионов: Ca^{2+}, Mg^{2+}, $Na^{+} + K^{+}$;

– процентное содержание анионов: HCO_3^{-}, SO_4^{2-}, Cl^{-}.

Диаграмму можно выполнить:

– вручную на миллиметровой бумаге;

– в Excel;

– в другой доступной программе для построения диаграмм.

13. Пример расчета

Рассмотрим пробу № 1.

Исходные данные:

Ca^{2+} = 80 мг/л

Mg^{2+} = 18 мг/л

$Na^{+} + K^{+}$ = 23 мг/л

HCO_3^{-} = 356 мг/л

SO_4^{2-} = 24 мг/л

Cl^{-} = 18 мг/л

13.1. Расчет минерализации

M = 80 + 18 + 23 + 356 + 24 + 18 = 519 мг/л

M = 519 / 1000 = 0,519 г/л
Следовательно, вода относится к пресным водам.

13.2. Перевод катионов в мг-экв/л
Ca^{2+} = 80 / 20,0 = 4,00 мг-экв/л
Mg^{2+} = 18 / 12,2 = 1,48 мг-экв/л
$Na^{+} + K^{+}$ = 23 / 23,0 = 1,00 мг-экв/л
Σ катионов = 4,00 + 1,48 + 1,00 = 6,48 мг-экв/л

13.3. Перевод анионов в мг-экв/л
HCO_3^{-} = 356 / 61,0 = 5,84 мг-экв/л
SO_4^{2-} = 24 / 48,0 = 0,50 мг-экв/л
Cl^{-} = 18 / 35,5 = 0,51 мг-экв/л
Σ анионов = 5,84 + 0,50 + 0,51 = 6,85 мг-экв/л

13.4. Расчет процентного содержания катионов
Ca^{2+} = 4,00 / 6,48 × 100 = 61,7 %
Mg^{2+} = 1,48 / 6,48 × 100 = 22,8 %
$Na^{+} + K^{+}$ = 1,00 / 6,48 × 100 = 15,5 %

13.5. Расчет процентного содержания анионов
HCO_3^{-} = 5,84 / 6,85 × 100 = 85,3 %
SO_4^{2-} = 0,50 / 6,85 × 100 = 7,3 %
Cl^{-} = 0,51 / 6,85 × 100 = 7,4 %

13.6. Определение химического типа воды
В катионном составе преобладает кальций Ca^{2+}. В анионном составе преобладают гидрокарбонаты HCO_3^{-}.
Следовательно, вода пробы № 1 относится к **гидрокарбонатно-кальциевому типу**.
Итоговая характеристика:
Проба № 1 представлена пресной подземной водой гидрокарбонатно-кальциевого состава с минерализацией 0,519 г/л и слабощелочной реакцией среды.

14. Задание для самостоятельного выполнения
Студенту необходимо:
1. Изучить правила отбора проб подземных вод.
2. По таблице 3 рассчитать минерализацию каждой пробы.
3. Определить тип воды по минерализации.
4. Перевести содержание основных ионов из мг/л в мг-экв/л.
5. Рассчитать сумму катионов и сумму анионов.
6. Определить процентное содержание катионов и анионов.
7. Установить химический тип каждой пробы воды.
8. Построить гидрохимическую диаграмму для одной выбранной пробы.

9. Сравнить химический состав всех проб.
10. Сделать общий вывод.

15. Анализ результатов

При анализе результатов необходимо обратить внимание на следующие вопросы:

1. Какие воды относятся к пресным, а какие — к слабосолоноватым?
2. В каких пробах преобладают гидрокарбонаты?
3. В каких пробах увеличивается содержание сульфатов?
4. В каких пробах повышено содержание хлоридов?
5. Какие воды имеют кальциевый, натриевый или смешанный катионный состав?
6. Какие воды могут быть связаны с активным водообменом?
7. Какие воды могут указывать на более длительный контакт с породами или повышенную минерализацию?
8. Какие воды могут быть менее благоприятными для питьевого использования без дополнительной оценки качества?

При интерпретации следует учитывать, что гидрокарбонатно-кальциевые воды часто характерны для зон активного водообмена и питания подземных вод. Сульфатные воды могут формироваться при растворении сульфатных минералов или окислении сульфидов. Хлоридно-натриевые воды часто связаны с более минерализованными водами, глубокими горизонтами или процессами засоления.

16. Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен включать:

1. номер и тему лабораторной работы;
2. цель работы;
3. краткие теоретические сведения;
4. краткое описание правил отбора проб воды;
5. исходные данные;
6. расчет минерализации;
7. перевод ионов в мг-экв/л;
8. расчет процентного содержания ионов;
9. определение химического типа воды;
10. гидрохимическую диаграмму;
11. анализ полученных результатов;
12. общий вывод;
13. ответы на контрольные вопросы.

17. Требования к выводу

В выводе необходимо указать:

– какие показатели химического состава воды были проанализированы;
– какие пробы относятся к пресным или слабосолоноватым водам;
– какие химические типы воды были установлены;

– какие ионы преобладают в составе изученных вод;

– какие особенности состава могут указывать на условия формирования подземных вод;

– какое значение имеет химический анализ воды для гидрогеологических исследований при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых.

18. Контрольные вопросы

1. Для чего проводится химический анализ подземных вод?
2. Какие ионы относятся к основным катионам?
3. Какие ионы относятся к основным анионам?
4. Что такое минерализация воды?
5. Как классифицируются подземные воды по минерализации?
6. Почему содержание ионов переводят из мг/л в мг-экв/л?
7. Как определяется химический тип воды?
8. Что показывает гидрохимическая диаграмма?
9. Какие требования предъявляются к отбору проб воды?
10. Какие показатели воды необходимо определять непосредственно в полевых условиях?
11. Почему пробу воды необходимо правильно маркировать?
12. Что может привести к искажению результатов химического анализа?
13. Какое значение имеет содержание сульфатов в подземных водах?
14. Что может указывать на повышенное содержание хлоридов?
15. Почему химический состав подземных вод важен при разведке и разработке месторождений полезных ископаемых?

19. Критерии оценивания

Критерий оценивания	**Баллы**
Правильность расчета минерализации	15
Правильность перевода ионов в мг-экв/л	20
Правильность расчета процентного содержания ионов	15
Верное определение химического типа воды	20
Построение гидрохимической диаграммы	15
Анализ и интерпретация результатов	10
Вывод и ответы на контрольные вопросы	5
Итого	**100**

20. Рекомендуемая литература

1. Климентов П. П., Богданов Г. Я. Общая гидрогеология.
2. Ланге О. К. Гидрогеология.
3. Справочник гидрогеолога.
4. Гидрогеохимия: учебные и справочные материалы.
5. Учебные и методические материалы по дисциплине «Гидрогеология».