

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Практикум*

Санкт-Петербург  
РГГМУ  
2022

УДК [502.2:544](076)

ББК 20.1я73

Г36

*Составитель:* Мансуров М.М., док. хим. наук, профессор кафедры прикладной и системной экологии РГГМУ

Г36      Геохимия окружающей среды. Практикум / Сост.: М.М. Мансуров. – Санкт-Петербург : РГГМУ, 2022. – 48 с.

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Геохимия окружающей среды» и содержат восемь лабораторных работ по темам: «Распространенность химических элементов в природе», «Геохимическая классификация химических элементов», «Кларки концентрации и рассеяния литосферы и педосферы», «Водная миграция», «Биогенная миграция» и «Техногенная миграция». В каждой работе кратко излагаются теоретические основы темы, описываются приемы и методы обработки геохимической информации, порядок выполнения работ.

Методические указания предназначены для студентов экологического факультета РГГМУ по направлению бакалавриата 05.03.06 «Экология и природопользование» очной и заочной форм обучения.

УДК [502.2:544](076)

ББК 20.1я73

© Российский государственный гидрометеорологический университет (РГГМУ), 2022

# Введение

Методические указания подготовлены для проведения практических занятий по дисциплине «Геохимия окружающей среды» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование». Основная цель практических занятий – освоение отдельных разделов дисциплины, формирование практических навыков расчета геохимических параметров, их графического представления и анализа.

В первом разделе учебного пособия рассматриваются вопросы, связанные с анализом распространённости химических элементов в различных сферах и оболочках Земли и их компонентах. Различные концепции геохимических классификаций химических элементов, предложенные известными учеными-геохимиками, изложены во второй части пособия. В следующем, третьем разделе, приводятся основные принципы распределения и концентрации химических элементов в биосфере. В заключительной, четвертой части, рассмотрены вопросы водной, биогенной и техногенной миграции элементов в окружающей среде.

В теоретической части пособия излагаются основные понятия и представления о применяемых в данном разделе геохимических показателях. На модельных задачах подробно разбираются методические приемы обработки исходной геохимической информации и методы их графического изображения. По каждой пройденной теме и практической работе обучающиеся выполняют индивидуальное самостоятельное задание, которое завершается анализом полученных результатов с краткими выводами и заключением. В качестве исходных данных использованы материалы из соответствующих методических разработок и пособий [7, 15–26].

## 1. Распространенность химических элементов в природе

**Цель работы:** ознакомление с основными законами распространённости химических элементов в различных сферах окружающей среды.

## Теоретическая часть

Одной из фундаментальных концепций геохимии является анализ распространенности химических элементов в различных сферах и оболочках Земли и их компонентах. Этой проблемой занимались практически все крупные геохимики. Особенно большой вклад в изучение среднего химического состава геосфер Земли внесли Ф.У. Кларк, И. Фохт, А.Е. Ферсман В.И. Вернадский, В.М. Гольдшмидт, А.П. Виноградов, А.А. Беус, А.Б. Ронов, К. Турекьян, К. Ведеполь, С. Тейлор и др.

Для понимания закономерностей распространенности химических элементов в изучаемых системах важное значение имеют основные геохимические законы.

*Закон Гольдшмидта* – основной закон геохимии, который указывает на взаимосвязь распределения элементов в земной коре с химическими и физическими свойствами атомов.

*Общая распространенность химического элемента и его изотопов в природе зависит главным образом от свойств и атомных ядер, а поведение в природных геохимических процессах – от свойств наружной электронной оболочки их атомов.*

*Закон Кларка–Вернадского* указывает на всеобщность рассеяния химических элементов в природе и обычно формулируется так:

*В любом природном объекте Земли (в любой геохимической системе) содержатся все химические элементы, находящиеся в ее коре.*

Его важным следствием является обнаружение любого из всех известных в природе химических элементов практически во всех системах Земли, т. е. наличие или отсутствие элемента в изучаемом объекте или системе зависит не от их собственных свойств, а от чувствительности используемых аналитических методов. В литосфере и Земле в целом преобладают легкие атомы (включая Fe), в земной коре – элементы с четными порядковыми номерами и четными атомными массами, особенно с массами, кратными 4 (в них преобладают изотопы с массой, кратной 4). Наиболее высокие кларки у элементов, атомные ядра которых содержат четное число протонов и нейтронов.

Общий химический состав земной коры определяют немногие химические элементы. Всего лишь восемь элементов – O, Si,

Al, Fe, Ca, Na, Mg и K – распространены в земной коре в весовом количестве более 1 % (табл. 1). Наиболее распространенным элементом земной коры, является кислород, составляющий примерно 47 % ее массы и около 90 % ее объема.

**Табл. 1. Наиболее распространенные химические элементы, % по массе**

Вселенная	Земля	Земная кора	Океан	Атмосфера	Биосфера
H – 77	Fe – 35	O – 46,6	O – 85,8	N – 78,08	O – 53
He – 21	O – 29	Si – 29,5	H – 11	O – 20,95	C – 39
O – 0,8	Si – 14	Al – 8,2	Cl – 1,94	Ar – 0,93	H – 6,6
C – 0,3	Mg – 14	Fe – 5,0	Na – 1,05	C – $9,3 \times 10^{-3}$	N – 0,5
Ne – 0,2	S – 2,9	Ca – 3,6	Mg – 0,13	Ne – $1,3 \times 10^{-3}$	Ca – 0,4
Fe – 0,1	Ni – 2,4	Na – 2,8	S – 0,09	Kr – $0,45 \times 10^{-3}$	K – 0,2
Si – 0,07	Ca – 2,1	K – 2,6	Ca – 0,041	He – $72 \times 10^{-6}$	Si – 0,1
N – 0,06	Al – 1,8	Mg – 2,1	K – 0,039	Xe – $40 \times 10^{-6}$	P – 0,1
Mg – 0,06	Na – 0,3	Ti – 0,57	Br – 0,007	H – $23 \times 10^{-6}$	Mg – 0,1
S – 0,04	P – 0,2	H – 0,22	C – 0,003	S – $70 \times 10^{-9}$	S – 0,07

Количественной геохимической характеристикой земной коры стало *среднее содержание химических элементов, показывающее, какой процент от массы земной коры составляет масса данного элемента.*

В 1869 г. Ф.У. Кларком впервые были определены эти величины для десяти наиболее распространенных химических элементов: кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, титана и фосфора. Затем в 1908 г. он опубликовал данные по среднему содержанию для более широкого перечня элементов. При этом в массу земной коры были включены гидросфера и атмосфера.

Учитывая большие заслуги Ф.У. Кларка по установлению первых количественных геохимических характеристик земной коры, академик А.Е. Ферсман предложил ввести новую количественную величину – **кларк элемента.**

*Кларк элемента – это число, выражающее среднее содержание химического элемента, характеризующее его распространенность в крупных геохимических системах (в земной коре, литосфере, атмосфере, гидросфере, биосфере, на Земле в целом или в космосе).*

Главная особенность распространённости элементов – это огромный разброс значений их кларков. Почти половина твёрдой земной коры состоит из одного элемента – O, на втором месте

стоит Si, на третьем – Al. В сумме они составляют от 80 до 85 % (по данным разных исследователей) массы земной коры.

Если к этому числу добавить Fe, Ca, Na, K, Mg, Ti, то получим 98–99,5 %, то есть почти всю земную кору (табл. 2). Эти девять элементов называют *породообразующими*. Остальные 80 элементов составляют менее 1 %.

Широко употребляются также термины *микроэлементы* – элементы, содержащиеся в данной системе в малых количествах (менее 0,01 %) и *макроэлементы*, содержащиеся в сравнительно больших количествах (от 0,01 % до десятков %). Так, Al – микроэлемент в организмах и макроэлемент в силикатных породах. Элементы с кларками менее 0,01–0,001 % называются *редкими*, если при этом они обладают слабой способностью к концентрации – *редкими рассеянными*, например, кларки U и Vg в литосфере соответственно равны  $2,5 \times 10^{-4}$  и  $2,1 \times 10^{-4}$  %, но U – редкий элемент (известно 104 минерала, содержащих U), а Vg – редкий рассеянный (известен лишь один его собственный минерал).

Закономерности распространенности химических элементов в земной коре изучались очень многими. Одно из наиболее полных обобщений этих закономерностей было сделано А.Е. Ферсманом. Для наглядности сделанных обобщений он построил полулогарифмический график, на котором по вертикальной оси откладывались логарифмы средних содержаний элементов (логарифмы кларков земной коры), а по горизонтальной – порядковые номера атомов этих элементов (рис. 1).

В целом распространенность элементов падает от начала к концу таблицы Менделеева, но не плавно, а скачками с «пиками» и «провалами». Элементы выше средней линии (в пиках) Ферсман назвал избыточными, а расположенные в провалах – дефицитными, наблюдается преобладание легких атомов.

Наиболее распространенными элементами земной коры по весовым кларкам являются следующие (по А.Е. Ферсману):

- O – 49,13; Si – 26,00; Al – 7,45; Fe – 4,20; Ca – 3,25; Na – 2,40; K – 2,35; Mg – 2,35; H – 1,00;

- Ti – 0,61; C – 0,35; Cl – 0,20; P – 0,12; S – 0,10; Mn – 0,10; F – 0,08; Ba – 0,05; N – 0,04; Sr – 0,035; Cr – 0,030; Zr – 0,025; V – 0,020; Ni – 0,020; Zn – 0,020; Cu – 0,010.

Эти 25 элементов составляют 99,95 % массы земной коры, среди которых первые 9 элементов составляют целые проценты,

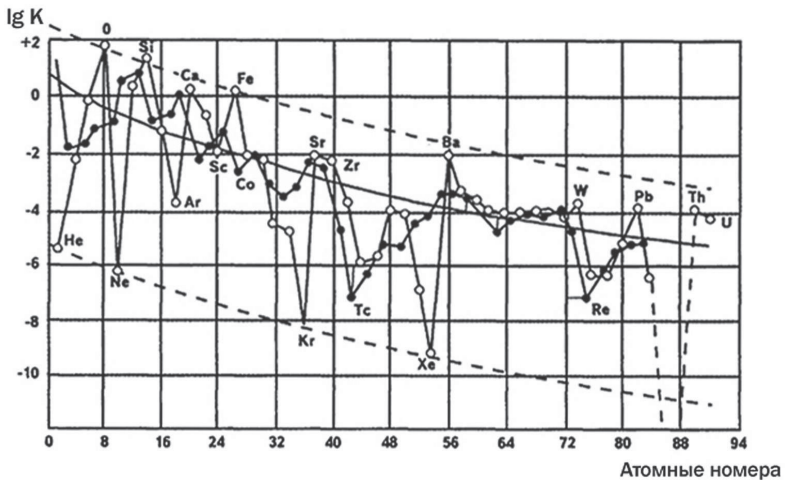


Рис. 1. Логарифмы атомных кларков химических элементов (по А.Е. Ферсману)

а кислород – абсолютно преобладающий элемент. Эти 9 элементов называют *породообразующими*. После элемента Fe нет ни одного широко распространенного элемента, а с элемента Cu начинается «область малых величин». Очень легкие элементы (Be, C, N) характеризуются низкой распространенностью. Из тяжелых элементов, атомный вес которых больше 119, повышенной распространенностью обладают Ba, La, Ce, Nd, Gd, Pb, которые расположены на «пиках» логарифмической кривой).

Четные элементы распространены шире нечетных в 5–10 раз (закон Оддо–Гаркинса). Для первых по распространенности 9 элементов: весовые кларки четных элементов (O, Si, Fe, Ca, Mg) составляют 85,54 %, а кларки нечетных (Al, K, Na, H) лишь 13,02 %.

Г. Оддо в 1914 г. обратил внимание на широкое распространение элементов, атомная масса которых кратна четырем. В дальнейшем этот закон был детально изучен В. Гаркинсом и А.Е. Ферсманом. Последний назвал его *законом кратности четырем*. Действительно, атомы, построенные по типу 4q, имеют наибольшие кларки (C, O, Mg, Si, S, Ca, Ti, Cr, Fe и т.д.).

Отмечается периодичность в распространенности: через 6 номеров следует более распространенный элемент O, Si, Ca, Fe. Элементы, имеющие числа протонов или нейтронов, равные 2, 8,

20, 28, 50, 82 и 126, названные магическими или дважды магическими (с четным числом и протонов, и нейтронов) – самые распространенные.

*Массовые кларки*, показывающие процентное содержание элементов в земной коре от ее общей массы, получили очень широкое распространение. В земной коре в некоторых процессах происходит взаимодействие атомов, то их число не соответствует массовым кларкам. В этих случаях удобнее пользоваться *атомными кларками*, показывающими, какой процент составляют атомы данного элемента от их общего числа в земной коре. Эти определения были введены А.Е. Ферсманом и П.Н. Чирвинским.

Для литосферы были также определены *объемные кларки*, показывающие, какой процент в объемном выражении занимает данный элемент в объеме всей литосферы. Так, массовый кларк ведущего химического элемента земной коры – кислорода – определяется в пределах 46–49,5 %, атомный – 53,4 %, а объемный – 92 %. Это позволяет считать земную кору кислородной сферой.

## Практическая работа № 1. Расчет кларков элементов

### Задание 1

Для породообразующих минералов земной коры выполнить расчет кларков элементов (табл. 2).

**Табл. 2. Породообразующие минералы земной коры**

Главные породообразующие минералы	Содержание в земной коре, % (мас.)	Наиболее типичные минералы групп
Полевые шпаты и фельдшпатоиды	60	Ортоклаз – $K[AlSi_3O_8]$ ; Альбит – $Na[AlSi_3O_8]$ Анортит – $Ca[AlSi_3O_8]$ ; Лейцит – $K[AlSi_2O_8]$ Нефелин – $K[AlSiO_4]$
Пироксены и амфиболы	16	Авгит – $Ca(Mg,Fe)[Si_2O_6]$ Диопсид – $CaMg[Si_2O_6]$
Кварц	12	Кварц – $SiO_2$
Слюды	4	Биотит – $K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2[(Al,Fe)Si_3O_{10}]$ Мусковит – $KAl_2(OH)_2[AlSi_3O_{10}]$
Прочие минералы	8	–



## Задание 2

Полученные данные внести в табл. 3 и сравнить усредненные значения с кларками элементов по А.П. Виноградову.

**Табл. 3. Сравнение кларков химических элементов в минералах с значением кларков в литосфере (по А.П Виноградову)**

Название минерала	Кларк элемента, % (мас.)										Молярная масса
	O	Si	Al	K	Na	Fe	F	Ca	Mg	H	
Ортоклаз											
Альбит											
Анортит											
Лейцит											
Нефелин											
Авгит											
Диопсид											
Кварц											
Биотит											
Мусковит											
Усредненные кларков											
Кларки по Виноградову											

**Табл. 4. Кларки земной коры и почв Земли (по А.П. Виноградову)**

Элемент	Кларк земной коры, $n \times 10^{-3} \%$	Кларк почв Земли, $n \times 10^{-3} \%$
Ag	0,01	0,05
As	0,17	0,50
Ba	65,00	50,00
Be	0,38	0,60
Bi	0,001	–
Cd	0,01	0,05
Co	1,80	0,80
Cr	8,30	20,00
Cu	4,70	2,00
Ga	1,90	3,00
Ge	0,14	0,50
Li	3,20	3,00
Mn	100,00	85,00
Mo	0,11	0,20
Nb	2,00	–
Ni	5,80	4,00
Pb	1,60	1,00
Sc	1,00	0,001

Элемент	Кларк земной коры, $n \times 10^{-3} \%$	Кларк почв Земли, $n \times 10^{-3} \%$
Sn	0,25	1,00
Sr	34,00	30,00
Ta	0,25	–
Ti	450	460
Tl	0,10	–
V	9,00	10,00
W	0,13	–
Y	2,00	5,00
Yb	0,03	–
Zn	8,30	5,00
Zr	17,00	30,00

## Литература

1. *Алексеев В.А. и др.* Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. – 359 с.
2. Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.Г. Кокин, А.Е. Мирошников и др. – М.: Недра, 1990. – 480 с.
3. *Тарасова Н.П. и др.* Задачи и вопросы по химии окружающей среды. – М.: Мир, 2002. – 368с.
4. *Постников А.В., Журавлева Л.М.* Руководство к лабораторным занятиям по геохимии. Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2010. – 37с.
5. *Касимов Н.С., Власов Д.В.* Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Известия Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. – С. 7–17.

## Практическая работа № 2.

### Распространенность элементов в биосфере

#### Задание 1

По данным табл. 5 построить зависимость десятичного логарифма кларка элемента от его порядкового номера для трех указанных сред (земная кора, живое вещество и морская вода). Графики должны получиться аналогичными графику А.Е. Ферсмана.

Линии желательнее оформить разными цветами или иным способом, т. к. они могут сливаться в отдельных местах. В отдельных случаях значения логарифма кларков элементов могут значительно отличаться друг от друга. В этом случае необходимо на линиях и осях сделать разрыв для того, чтобы график уместился на один лист.

**Табл. 5. Кларки наиболее распространенных элементов в разных природных системах, %.**

№	Элемент	Земная кора (по Л.Н. Овчинникову)	Живое вещество (по А.П. Виноградову)	Морская вода (по А.П. Виноградову)
1	H	0,11000000	10,50000000	10,80000000
3	Li	0,00250000	0,00001000	0,00001800
4	Be	0,00020000	0,00000400	0,00000000
5	B	0,00090000	0,00100000	0,00046000
6	C	0,02000000	18,00000000	0,00280000
7	N	0,00200000	0,30000000	0,00005000
8	O	46,50000000	70,00000000	85,70000000
9	F	0,06400000	0,00050000	0,00013000
11	Na	2,38000000	0,02000000	1,05000000
12	Mg	2,26 000000	0,07400000	0,13000000
13	Al	8,07 000000	0,00500000	0,00000100
14	Si	27,99000000	0,20000000	0,00030000
15	P	0,10000000	0,07000000	0,00000700
16	S	0,03300000	0,05000000	0,08900000
17	Cl	0,01800000	0,02000000	1,93000000
19	K	2,13000000	0,30000000	0,03800000
20	Ca	3,81000000	0,50000000	0,04000000
22	Ti	0,53000000	0,00080000	0,00000010
23	V	0,00120000	0,00010000	0,00000020
24	Cr	0,00930000	0,00010000	0,00000000
25	Mn	0,09000000	0,00100000	0,00000020
26	Fe	5,33000000	0,01000000	0,00000100
27	Co	0,00230000	0,00002000	0,00000005
28	Ni	0,00700000	0,00005000	0,00000020
29	Cu	0,00530000	0,00020000	0,00000030
30	Zn	0,00680000	0,00050000	0,00000100
31	Ga	0,00170000	0,00000100	0,00000000
32	Ge	0,00014000	0,00010000	0,00000001
33	As	0,00018000	0,00003000	0,00000030
35	Br	0,00024000	0,00015000	0,00650000

№	Элемент	Земная кора (по Л.Н. Овчинникову)	Живое вещество (по А.П. Виноградову)	Морская вода (по А.П. Виноградову)
37	Rb	0,01100000	0,00050000	0,00001200
38	Sr	0,03700000	0,00200000	0,00080000
40	Zr	0,01600000	0,00030000	< 0,00000000
41	Nb	0,00210000	< 0,00000000	< 0,00000000
42	Mo	0,00012000	0,00001000	0,00000100
47	Ag	0,00000730	0,00000100	0,00000003
50	Sn	0,00023000	0,00005000	0,00000030
51	Sb	0,00003000	0,00000010	< 0,00000005
53	I	0,00004700	0,00001000	0,00000600
55	Cs	0,00043000	0,00001000	0,00000004
56	Ba	0,04700000	0,00300000	0,00000250
73	Ta	0,00022000	< 0,00000000	< 0,00000000
74	W	0,00014000	0,00000100	0,00000001
78	Pt	0,00000057	< 0,00000000	< 0,00000000
79	Au	0,00000035	0,00000001	< 0,00000000
80	Hg	0,00000720	0,00000050	< 0,00000000
82	Pb	0,00130000	0,00005000	< 0,00000002
92	U	0,00026000	0,00000090	0,00000030

## Задание 2

По полученным данным сделать заключение и перечислить преобладающие элементы в каждой среде (литосфера, морская вода и живое вещество).

## Литература

1. *Сает Ю.Е., Ревич В.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
2. *Алексеев В.А. и др.* Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. – 359 с.
3. *Фортескью Дж.* Геохимия окружающей среды / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1985. – 360 с.
4. *Постников А.В., Журавлева Л.М.* Руководство к лабораторным занятиям по геохимии. Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2010. – 37 с.

5. Труфанов, А.И. Геохимия окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб. пособие – Вологда: ВоГУ, 2014. – 78 с.

6. Геохимия окружающей среды: учебное пособие / сост. О.А. Поспелова. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 134 с.

## 2. Геохимическая классификация химических элементов

**Цель работы:** разбор принципов и усвоение основных геохимических классификации химических элементов В.М. Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана, В.И. Вернадского, А.Н. Заварицкого, А.И. Перельмана, применяемых в геохимии окружающей среды.

### Теоретическая часть

Геохимическая классификация элементов – это разделение химических элементов на группы в соответствии с основными закономерностями их участия в геологических процессах. Основой большинства геохимических классификаций является Периодическая таблица химических элементов Д.И. Менделеева, в которой атомы по их химическим свойствам разбиты на группы и ряды. Положение элемента в таблице предопределяет и указывает на его геохимические свойства, т. е. на способность мигрировать, рассеиваться или концентрироваться в условиях земной коры и биосфере. Поэтому таблица Д.И. Менделеева может рассматриваться как наиболее ранний вариант геохимической классификации.

В настоящее время в геохимии известны следующие классификации химических элементов: В.М. Гольдшмидта, А.Е. Ферсмана, В.И. Вернадского, А.Н. Заварицкого, А.И. Перельмана.

**Классификации А.Е. Ферсмана** основана на развернутой таблице Д.И. Менделеева, в которой выделены элементы, создающие концентрации в определенных магматических горных породах: кислых, средних и ультраосновных магм и сульфидных месторождений.

Периодическую таблицу в развернутой форме А.Е. Ферсман разделил ее на верхнюю и нижнюю части горизонтальной чертой, проходящей между 3 и 5 периодами (рис. 2). Нижнюю часть,

Ряд	Группы																Ряд		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	—	—	—	—	—	—	1 H 1,008	2 He	3 Li 6,94	4 Be 9,02	—	—	—	—	—	—	2а		
2b	—	—	5 B 10,88	6 C 12,00	7 N 14,01	8 O 16,00	9 F 19,00	10 Ne 20,18	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	—	—	—	—	—	—	3а		
3b	—	—	13 Al 26,97	14 Si 28,06	15 P 31,02	16 S 32,06	17 Cl 35,46	18 Ar 39,94	19 K 39,10	20 Ca 40,07	21 Sc 45,10	22 Ti 47,90	23 V 50,95	24 Cr 52,01	25 Mn 54,93	26 Fe 55,84	27 Co 58,94	28 Ni 58,69	4
5	29 Cu 63,57	30 Zn 65,38	31 Ga 69,72	32 Ge 72,66	33 As 74,96	34 Se 79,2	35 Br 79,92	36 Kr 82,9	37 Rb 85,46	38 Sr 87,63	39 Y 88,91	40 Zr 91,82	41 Nb 93,5	42 Mo 96,0	43 Tc ?	44 Ru 101,7	45 Rh 102,9	46 Pd 106,7	6
7	47 Ag 107,88	48 Cd 112,41	49 In 114,8	50 Sn 118,7	51 Sb 121,76	52 Te 127,5	53 I 126,93	54 Xe 130,2	55 Cs 132,81	56 Ba 137,36	57-71 TR	72 Hf 178,6	73 Ta 181,5	74 W 184,0	75 Re 186,3	76 Os 190,9	77 Ir 193,1	78 Pt 195,23	8
9	79 Au 197,2	80 Hg 200,51	81 Tl 204,39	82 Pb 207,2	83 Bi 209,0	84 Po (210)	85 At ?	86 Rn (222)	87 Fr	88 Ra 226,97	89 Ac (227)	90 Th 232,12	91 Pa (231)	92 U 238,14	—	—	—	—	10
		Группа TR		57 La 138,90	58 Ce 140,13	59 Pr 140,92	60 Nd 144,27	61 Pm —	62 Sm 150,43	63 Eu 152,8	64 Gd 157,3	65 Tb 159,2	66 Dy 162,16	67 Ho 163,5	68 Er 167,67	69 Tm 169,4	70 Yb 173,5	71 Lu 175,0	

Рис. 2. Геохимическая система элементов А.Е. Ферсмана

в свою очередь, вертикальной чертой (по благородным газам) он разделил на правое и левое поля.

В верхнем поле (заканчивается на никеле, № 28) расположены элементы, наиболее распространенные в литосфере, гидросфере и атмосфере. Левая часть этого поля занята преимущественно неметаллами, а правая – металлами.

Для нижнего левого поля характерны халькофильные металлы, образующие соединения с серой, селеном, теллуром. (Cu, Zn, As, Sn, Pb и т.д.).

Для нижнего правого поля характерны элементы остаточных кислых магм и гранитных пегматитов (Zr, Nb, Ta, U, TR и т.д.). Здесь же расположены и элементы платиновой группы.

В итоге было получено пять самостоятельных групп: благородные газы, металлы обычного поля, металлоиды обычного поля, элементы нижнего кислого поля и элементы сульфидного поля.

**Классификация В.И. Вернадского** построена на присутствии или отсутствии в истории данного элемента химических и радиохимических процессов, обратимости или необратимости этих процессов, а также на присутствии или отсутствии в земной коре их химических соединений или молекул, состоящих из нескольких атомов. Согласно этим признакам В.И. Вернадский выделил шесть геохимических групп:

- 1) благородные газы;
- 2) благородные металлы;
- 3) циклические элементы;
- 4) рассеянные элементы;
- 5) элементы сильнорадиоактивные;
- 6) элементы редких земель.

**Табл. 6. Геохимические группы элементов по данным В.И. Вернадского**

Название группы	Элементы	Число элементов
Благородные газы	He, Ne, Ar, Kr, Xe	5
Благородные металлы	Ru, Rh, Pd, Os, Ir, Pt, Au	7
Циклические элементы	H, Be, B, C, N, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, As, Se, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Te, Ba, Hf, W, Re, Hg, Tl, Pb, Bi	44
Рассеянные элементы	Li, Sc, Ga, Br, (Rb), Y, Nb, In, I, Cs, Ta	11
Радиоактивные элементы	Po, Rn, Ra, Ac, Th, Pa, U	7
Редкоземельные элементы	La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu	15

*Благородные газы* – эти элементы соединения с другими атомами образуют исключительно редко, поэтому в природных химических процессах значительного участия не принимают.

*Благородные металлы* – в природе в виде соединения весьма редки.

Преимущественно присутствуют в форме сплавов и образуются в основном в глубинных процессах (магматических, гидротермальных).

*Циклические элементы* – наиболее многочисленная группа и преобладающая по массе.

*Рассеянные элементы* – практически не встречаются в природе в виде самостоятельных минералов, не обладают способностью концентрироваться, а встречаются лишь в виде примесей в различных минералах.

*Редкоземельные элементы* – тяготеют к рассеянным, характеризуются совместной миграцией.

*Радиоактивные элементы* – в геохимических процессах происходит постоянное превращения (радиохимический распад), процессы миграции их весьма сложны.

**Классификация М.В. Гольдшмидта.** Наиболее широко применяемая классификация. Первичная дифференциация элементов осуществлялась по их химическому родству к железу, так как железо составляет около 35 % массы Земли. Элементы сгруппированы на основе их способности формировать естественные ассоциации в природных процессах. Это определяется рядом факторов, а именно:

- 1) строением электронных оболочек, обуславливающее химические свойства элементов;
- 2) положением элементов на кривой атомных объемов;
- 3) химическим «родством» к тем или иным конкретным элементам, а именно, способностью образовывать соединения.

Элементы, характеризующие каждую из сфер, располагаются в определенных частях кривой атомных объемов.

В своей классификации М.В. Гольдшмидт разделил элементы на четыре группы:

- сидерофилы – восстанавливаются железом;
- литофилы – не восстанавливаются железом и склонны к образованию окислов;

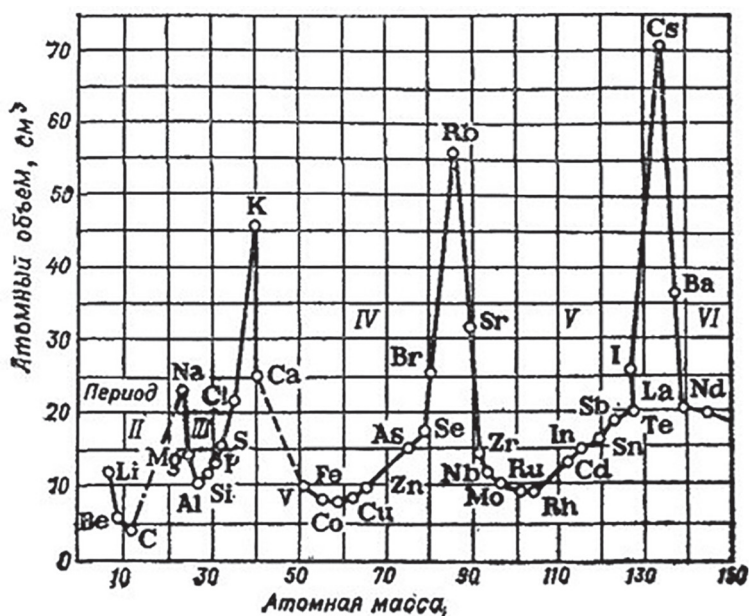


Рис. 3. Зависимость атомных объемов от атомной массы элемента.



– халькофилы – не восстанавливаются железом и образуют сульфиды;

– атмосферилы – улетучившиеся в атмосферу элементы.

*Литофильные* элементы образовали земную кору и верхнюю мантию, около 95 % земной коры состоит из соединений литофильных элементов. К ним относятся 54 элемента: Li, Be, B, O, F, Na, Mg, Al, Si, P, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, I, Cs, Ba, TR, Hf, Ta, W, At, Fr, Ra, Ac, Th, Pa, U. Большинство элементов входят в состав силикатов, характерны соединения с кислородом, встречаются в виде окислов, галогенидов, фосфатов, сульфатов, карбонатов. Эти элементы трудно восстанавливаются до элементарного состояния.

*Халькофильные* (или тиофильные, «любящие» серу) – это элементы, которые ассоциируют преимущественно с медью и серой (19 элементов). Это – сера и её аналоги (селен, теллур), а также элементы, преимущественно склонные образовывать сульфидные соединения. В природе сосредоточены в нижней мантии и встречаются в виде сульфидов, сульфосолей, теллуридов, селенидов, некоторые из них встречаются в самородном виде (Au, Ag, Cu, As, S, Bi). Элементы Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, Ga, Tl, As, Sb, Bi, S, Se, Te образуют многочисленную группу сульфидных и теллуридных минералов.

*Сидерофильные* – Fe, Co, Ni, Mo, Ru, Rh, Pd, Re, Os, Ir, Pt. К ним относятся все элементы семейства железа и семейства платиновых металлов, а также молибден и рений – всего 11 элементов. Эти элементы занимают промежуточное положение между лито- и халькофильными, в равной мере распространены в оксидных и в сульфидных ассоциациях. В природе находятся в виде окислов, силикатов, сульфидов, реже арсенидов, являются основой полиметаллических руд.

*Атмосферилы* атмосферилы (всего 8) – к ним относятся все инертные газы (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn), азот и водород. В природе для них характерно газообразное элементарное состояние.

В настоящее время дополнением к этой классификации является еще одна группа – группа *биофильных элементов* («элементы жизни»), которую разделяют на *макробиогенные* (H, C, N, O, Cl, Br, S, P, Na, K, Mg, Ca) и *микробиогенные* (V, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, B, Si, Mo, F).

**Классификация элементов А.И. Перельмана**, основанная на особенностях миграции химических элементов, широко

применяется при изучении биосферы и ноосферы. В основу этой классификации положены наиболее характерные особенности миграции химических элементов в биосфере и их способность концентрироваться на определенных геохимических барьерах.

Все элементы А.И. Перельман разделил на две группы: 1) мигрирующие преимущественно в газообразном состоянии и 2) мигрирующие в растворах. Было выделено 11 воздушных, и из них только 5 относятся к активным. Водные мигранты разделяются в зависимости от интенсивности миграции, которая определяется по величине коэффициента водной миграции. При этом учитывается еще целый ряд важнейших показателей перемещения элементов в водных растворах:

- 1) способность образовывать катионы и анионы;
- 2) постоянная или переменная валентность;
- 3) подвижность (или же инертность и осаждение на барьерах) в окислительной, глеевой или сероводородной обстановках;
- 4) интенсивность (инертность) миграции в растворах с различными щелочно-кислотными условиями;
- 5) интенсивность миграции с органическими комплексами;
- 6) преимущественное нахождение в самородном состоянии;
- 7) роль биогенного накопления в истории элемента.

**Классификация А.И. Заварицкого**, аналогично классификации А.Е. Ферсмана, также основана на развернутой таблице Д.И. Менделеева, но более детально объединяет геохимически близкие элементы. В этой классификации все химические элементы делятся на 10 групп, нахождение которых в земной коре зависит от строения атомов.

Таблицу Д.И. Менделеева он разделил на следующие блоки:

- 1) благородные газы (от He до Rn);
- 2) элементы горных пород (Na, Mg, Al, Si, K, Ca и др.);
- 3) элементы магматических эманаций (B, F, P, Cl, S и др.);
- 4) элементы «семейства», группы железа (Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni);
- 5) редкие элементы (Sc, TR, Nb, Ta и др.);
- 6) радиоактивные элементы (Ra, Th, U и др.);
- 7) элементы сульфидных руд (Cu, Zn, Sn, Hg, Ag и др.);
- 8) элементы металлоидные и металлогенные (As, Sb, Bi, Se и др.);
- 9) платиноиды – элементы группы платины (Os, Ir, Pt и др.);
- 10) тяжелые галоиды (Br, I).

# **Практическая работа № 3.**

## **Геохимическая классификация**

### **по А.Е. Ферсману, В.М. Гольдшмидту**

### **и А.Н. Зварицкому**

#### **Задание 1**

Согласно геохимической таблице элементов по А.Е. Ферсману выделить в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева:

- 1) элементы кислых магм;
- 2) средних магм;
- 3) ультраосновных магм;
- 4) сульфидных месторождений.

#### **Задание 2**

Согласно геохимической классификации В.М. Гольдшмидта выделить в периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева:

- 1) атмосферные элементы;
- 2) литофильные элементы;
- 3) халькофильные элементы;
- 4) сидерофильные элементы.

#### **Задание 3**

На кривой атомных объемов элементов выделить четыре основные группы по классификации В.М. Гольдшмидта и сделать выводы о их распределении.

#### **Литература**

1. *Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976. – 248 с.
2. *Перельман А.И.* Геохимия: учебник. – М., 1989. – 528 с.
3. *Алексеев В.А. и др.* Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. – 359 с.

4. *Постников А.В., Журавлева Л.М.* Руководство к лабораторным занятиям по геохимии. Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2010. – 37 с.

5. *Труфанов А.И.* Геохимия окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб. пособие. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 78 с.

6. *Рожнова А.А.* Общая геохимия: учебное пособие (практикум для лабораторных работ. – Ставрополь, 2017. – 64 с.

### 3. Распределение и концентрация химических элементов в литосфере и педосфере

**Цель работы:** Освоение методик расчетов кларка концентрации и кларка рассеивания, построение геохимических спектров и составление геохимического индекса.

#### Теоретическая часть

Для описания отличий в той или иной конкретной природной системе или ее части от кларка литосферы В.И. Вернадский ввел такую характеристику как кларк концентрации (КК), который представляет собой отношение весового содержания данного элемента в природном объекте ( $C_i$ ) к кларку литосферы ( $K$ ):

$$КК = C_i / K.$$

По величине кларк концентрации возможно оценивать степень концентрации ( $КК > 1$ ) или рассеяния ( $КК < 1$ ) в исследуемом объекте различных химических элементов относительно литосферы или иной породы и почв.

Если содержание химического элемента значительно меньше кларка литосферы, то в этом случае рассчитывается величина обратная кларку концентрации – *кларк рассеяния* (КР), который показывает во сколько раз кларк элемента в литосфере больше его содержания в изучаемом природном объекте:

$$КР = K / C_i.$$

Следовательно, данные показатели КК и КР, характеризующие относительную распространённость химических элементов в природе, позволяют оценивать процессы концентрации или

рассеянии химических элементов в исследуемых объектах (породы, почвы и др.) относительно отдельных частей литосферы.

В исследованиях часто приходится сравнивать распределение ряда химических элементов в различных системах. В этих случаях целесообразно оценивать их концентрацию или рассеивание по анализу геохимических спектров (рис. 4). Элементные химические составы пород и других систем графически можно сопоставить путем построения *геохимических спектров* элементов, представляющих собой в данном случае ряды кларков концентрации и кларков рассеяния в разных объектах. Использование КК и КР в виде геохимических спектров предпочтительно по сравнению с иными способами и более наглядно представляет данные.

## Практическая работа № 4.

### Кларки концентрации и рассеяния литосферы

#### Задание 1

Для представленного варианта работы провести подсчет кларков концентрации и рассеяния (КК и КР) с использованием табличных данных и сведений о кларках элементов.

#### Задание 2

Для полученных значений КК и КР составить ранжированный ряд для рассматриваемых объектов и построить графики геохимических спектров в осадочных породах континентов. Указать различия и сходства в распределении химических элементов в различных типах осадочных пород.

*Ранжирование значений КК и КР* для объекта. При построении геохимических спектров один из изучаемых объектов выборочно принимается за эталонный (например, породы кислого состава), с которыми сравниваются основные метаморфические или осадочные породы. Величины КК и КР для рассматриваемых объекта располагаются в порядке их убывания (для КК) и возрастания (для КР).

Например:  $\text{Cu}_{(1,36)}$   $\text{Rb}_{(1,14)}$   $\text{Fe}_{(1,03)}$   $\text{Sr}_{(1,03)}$   $\text{V}_{(1,02)}$   $\text{Mn}_{(0,98)}$   $\text{Ni}_{(0,96)}$   $\text{Ti}_{(0,95)}$   
 $\text{Zn}_{(0,94)}$   $\text{Pb}_{(0,87)}$   $\text{Co}_{(0,82)}$ .

Построение графика геохимического спектра начинается с отображения на нем величин КК и КР эталонной системы. По оси ординат располагаются значения КК и КР вверх и вниз

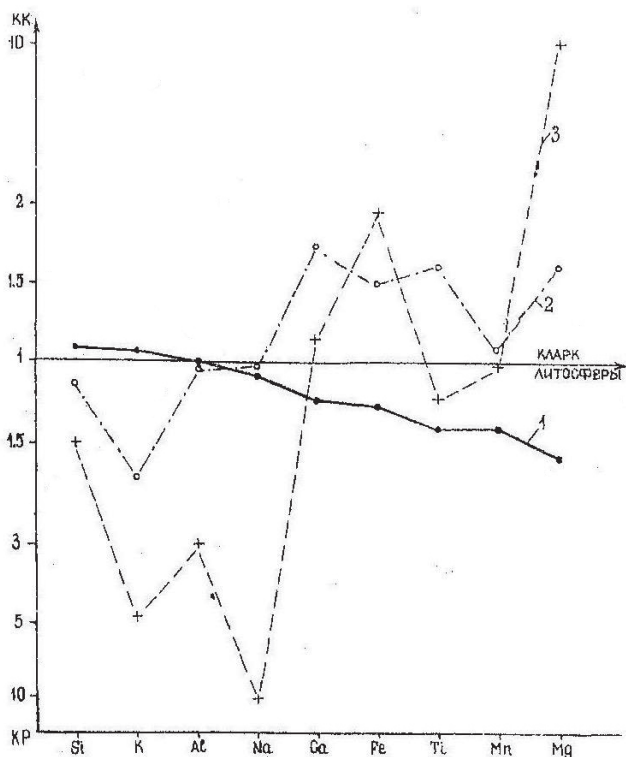


Рис. 4. Геохимические спектры пород:  
1 – кислые; 2 – основные; 3 – ультраосновные

от величины  $КК = 1,0$ . Вверх от этой величины по оси ординат откладываются значения  $КК$ , вниз –  $КР$ . По оси абсцисс для эталонного объекта через равные интервалы проставляются символы анализируемых химических элементов в порядке ранжирования.

В результате выполненных построений спектр эталонного объекта получает вид монотонной кривой, наглядно отражающей меру обогащенности или обедненности пород элементами по сравнению с их содержанием в литосфере. Спектры других объектов выстраиваются на этом же графике эталонного объекта по значениям  $КК$  и  $КР$  и представляют собой ломаные линии.

Такие спектры позволяют выявить ассоциации элементов накопления и рассеяния относительно эталонного объекта. Этим способом можно на одном рисунке одновременно сравнивать до 4–5 объектов по большому числу химических элементов. На

рис. 4 приведены геохимические спектры трех типов горных пород, отражающие их отличия от среднего состава литосферы.

### Задание 3

На основе составленных ранжированных рядов КК и КР необходимо составить геохимические индексы для рассматриваемых объектов. Геохимический индекс записывается следующим образом:

1) в числителе указывают накапливающиеся элементы, для которых КК (относительная концентрация)  $> 1,1$ ;

2) в знаменателе записывают рассеивающиеся элементы, для которых КР (относительная концентрация)  $< 0,9$ ;

3) химические элементы, для которых значения КК и КР колеблются в пределах  $0,9-1,1$ , считаются близкими к фону (среднему показателю для всей территории) и вписываются перед геохимическим индексом.

В скобках рядом с символом элемента указывают относительные концентрации (КК или КР).

Пример:  $\text{Fe}_{(1,03)} \text{Sr}_{(1,02)} \text{V}_{(1,02)} \text{Mn}_{(0,98)} \text{Ni}_{(0,96)} \text{Ti}_{(0,95)} \text{Zn}_{(0,94)} * \text{Cu}_{(1,36)}$   
 $\text{Rb}_{(1,14)} / \text{Pb}_{(0,87)} \text{Co}_{(0,82)}$

### Задание 4

Дать краткую характеристику особенностей распределения элементов в горных породах, указать особенности геохимических спектров, отметить сходство и различия в химическом составе рассмотренных пород.

При этом привести описание общих закономерностей, близости геохимического спектра к среднему составу литосферы, преобладания в данной породе концентрации или рассеивания элементов. Целесообразно выделить определенные группы накопления или рассеивания.

*Исходные данные.* Для расчета КК и КР из табл. 7 необходимо выбрать два различных типа пород и данные по содержанию элементов в этих образцах вместе с кларками элементов в литосфере внести в табл. 8.

Пользуясь данными кларков литосферы (табл. 7), провести расчет кларков концентрации (КК) и кларков рассеивания (КР) для выбранных образцов пород и внести полученные данные в табл. 8. По расчетным значениям КК и КР провести процедуру

ранжирования, построить геохимические спектры и составить геохимические индексы (задания 1–3). На основе полученных результатов сделать заключение в соответствии с заданием 4.

**Табл. 7. Средние содержания химических элементов в различных типах горных пород**

Горные породы	Элементы, мг/кг										
	Mn	Co	Ni	Sn	Pb	Sr	Ba	As	Zn	Cr	Cu
Пески и песчаники	590	13,0	35	2,8	14	220	370	7,2	67	58	31
Глины, сланцы глинистые	800	19,0	49	3,5	14	240	460	9,3	89	110	36
Карбонатные породы	770	5,1	19	0,8	7	380	360	4,4	26	20	21
Кремнистые породы	1100	1,3	37	1,4	6	110	300	4,4	21	32	7
Вулканыты	1200	24,0	58	2,7	15	400	410	2,4	79	85	57
Граниты	420	1,0	3,5	3,0	19	150	750	1,6	39	7,8	10
Гранодиориты	750	8,0	16	2,2	15	440	560	1,8	53	22	29
Сиениты	1200	3,0	4,0	4,0	12	200	1600	1,4	130	2	5
Ультрабазиты	1500	150,0	2000	5,0	0,46	7	0,8	1,3	46	1800	10
Парагнейсы, сланцы	980	19,0	78	4,6	20	260	440	9,5	94	140	52
Железистые породы	760	5,0	18	4,5	27	160	280	7,5	130	36	57
Гранито-гнейсы	400	17,0	23	3,3	19	250	700	1,4	63	61	29
Кларки литосферы	770	15,0	50	2,5	17	270	628	5,6	75	92	27

**Табл. 8. Содержание элементов в породах**

Породы	Элементы, мг/кг										
	Mn	Co	Ni	Sn	Pb	Sr	Ba	As	Zn	Cr	Cu
Кларк литосферы	770	15,0	50	2,5	17	270	628	5,6	75	92	27
Порода 1											
КК/КР											
Порода 2											
КК/КР											

## Литература

1. *Фортескью Дж.* Геохимия окружающей среды / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1985. – 360 с.



2. *Чертко Н.К.* Геохимическая экология. – Минск, 2002. – 79 с.
3. *Ковальчик Н.В. и др.* Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с.
4. *Шишкина Д.Ю., Коханистая Н.В.* Геохимия окружающей среды: учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону, 2016. – 56 с.

## Практическая работа № 5.

### Кларки концентрации и рассеяния педосферы

Состав химических элементов в почве значительно колеблется в зависимости от материнской породы почвообразования. Почвы формируются в результате выветривания и выщелачивания пород, при этом в почве накапливаются соединения щелочных и щелочноземельных металлов, микроэлементы и др.

Для описания среднего химического состава почв также применяется термин «кларк». В этих случаях применяют глобальные, региональные и местные кларки. *Глобальные* кларки элементов используются как справочные данные, а *региональные* кларки применяются для описания отдельных территорий. *Местные* кларки необходимы при проведении на небольших участках территории эколого-геохимических исследований, а также при поиске полезных ископаемых,

В общем случае содержание элементов в почвах Земли близко по значениям к кларкам литосферы. Почвы по содержанию элементов отличаются от литосферы, поскольку почвообразование включает в себя процесс обмена химическими соединениями между литосферой, атмосферой и наземными организмами. Процессы отмирания растений и разложения органических остатков высвобождают биофильные элементы, которые накапливаются в верхних горизонтах почв. Процессы биогенной и водной миграции, круговорот химических элементов, синтез органического вещества и др. также оказывают влияние на состав почвы.

Для оценки и сравнения содержания химических элементов в почвах применяют *коэффициент концентрации* ( $K_c$ ), или *относительную концентрацию*. Величина  $K_c$  является ландшафтно-геохимическим показателем, позволяющий оценивать

степень превышение содержания химического элемента в почве от его среднего фоновое содержания (регионального или местного) ( $C_{\phi i}$ ):

$$K_c = C_i / C_{\phi}$$

*Коэффициент рассеяния* ( $K_p$ ) – это величина, обратная коэффициенту концентрации, представляющая собой отношение содержания элемента в почве к его содержанию в исследуемом природном объекте. Она показывает, во сколько раз содержание химического элемента в почве ( $C_{\phi}$ ) больше его содержания в данном объекте ( $C_i$ ):

$$K_p = C_{\phi} / C_i$$

На основе коэффициентов концентрации может быть составлен *геохимический индекс почв*. Он позволяет наглядно оценить особенности накопления ряда химических элементов в почвенном покрове конкретного региона. Основой построения геохимических индексов являются коэффициенты концентрации ( $K_c$ ) или относительные концентрации, т. е. отношение среднего содержания элемента в почве конкретного ландшафта к его среднему отношению в почвах всей исследуемой территории или к фоновому значению.

Геохимический индекс почв записывают следующим образом:

- 1) числитель – накапливающиеся элементы почв ( $K_c > 1,1$ );
- 2) знаменатель – рассеивающиеся элементы почв ( $K_c < 0,9$ );
- 3) химические элементы, относительная концентрация которых находится в пределах 0,9–1,1, считаются близкими к фону и вписываются перед геохимическим индексом. В скобках указывают относительные концентрации.

Например:  $Fe_{(1,03)} Sr_{(1,03)} V_{(1,02)} Mn_{(0,98)} Cr_{(0,98)} Ni_{(0,96)} Ti_{(0,95)} Zn_{(0,94)}$   
 $(Cu_{(1,36)} Rb_{(1,14)} / Pb_{(0,87)} Co_{(0,82)})$

Расчет коэффициентов концентрации и коэффициентов рассеяния позволяет выделять геохимические ассоциации накапливающихся и рассеивающихся химических элементов. В ассоциациях накапливающиеся элементы принято располагать в порядке уменьшения их значений  $K_c$ , тогда как рассеивающиеся элементы располагают в порядке увеличения их значений  $K_p$ .

## Задание 1

Для представленного варианта работы провести подсчет коэффициентов концентрации и рассеяния с использованием

данных табл. 9. Для полученных значений составить ранжированный ряд и построить геохимические спектры для почв выбранного ландшафта.

## Задание 2

Составить и провести анализ геохимических индексов почв, выделить геохимические ассоциации элементов накопления и рассеяния, а также элементы, концентрации которых близки к фоновым показателям. Указать существенные эколого-геохимические различия сравниваемых территорий.

**Табл. 9. Среднее содержание тяжелых металлов в почвах левобережья и правобережья Самарской области, мг/кг**

Элемент	Правобережье		Левобережье				
	В целом	Самарская Лука	В целом	Лесостепь	Степь		
					1	2	3
Ti	6190,26	6170,98	4453,64	4057,66	4768,85	4634,39	4895,26
Mn	700,78	814,55	673,00	797,55	571,58	599,97	539,62
Fe	27403,30	29990,67	34620,90	35388,04	32041,50	35771,29	37841,15
Cr	125,55	153,82	97,63	104,09	114,07	70,66	63,18
V	не опред.	не опред.	72,48	85,06	80,55	45,13	44,15
Co	18,49	17,91	10,15	13,18	10,61	9,16	9,73
Ni	33,97	38,34	27,50	38,12	22,79	12,70	9,15
Cu	157,67	188,34	36,04	37,46	28,43	25,50	24,67
Zn	126,49	131,74	70,86	92,05	45,38	45,79	47,65
Sr	152,81	164,32	176,79	179,29	174,03	173,84	176,85
Rb	не опред.	не опред.	78,65	83,08	70,24	85,01	91,97
Pb	21,73	22,45	9,79	10,34	8,34	8,73	5,65
Mo	9,77	10,60	не опред.	не опред.	не опред.	не опред.	не опред.

*Примечание:*

1 – богато разнотравно-типчаково-ковыльные степи;

2 – разнотравно-типчаково-ковыльные степи;

3 – типчаково-ковыльные степи.

## Литература

1. Геохимия ландшафта: учеб. пособие / под ред. Н.К. Чертоко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.

2. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. – М.: Астрель, 1999. – 768 с.

3. *Шишкина Д.Ю., Коханистая Н.В.* Геохимия окружающей среды: учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону, 2016. – 56 с.

4. Геохимия окружающей среды: учебно-методическое пособие / сост. И.В. Борисова, Р.А. Шарафутдинов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013.

5. *Прохорова Н.В.* Ландшафтный подход в региональных эколого-геохимических исследованиях // Известия Самарского научного центра РАН. – 2004 – № 2, Т. 6 – С. 259–265.

## 4. Миграционные процессы в биосфере

### 4.1. Водная миграция

**Цель работы:** проанализировать изменение гидрохимических характеристик (минерализации, химического состава и интенсивности водной миграции) речных вод по направлению течения.

#### Теоретическая часть

Одним из основных факторов, влияющих на дифференциацию вещества в этих системах, является водная миграция химических элементов и соединений, осуществляемая в виде разнообразных растворимых, коллоидных, взвешенных и других форм нахождения. Интенсивность этой миграции зависит от ряда внешних и внутренних факторов.

Показатели, характеризующие водную миграцию, в зависимости от применяемых методов расчета объединяются в три группы.

*Показатели 1-й группы* характеризуют содержание растворенных солей в водах ( $M$  – общая минерализация, мг/дм<sup>3</sup>) и содержание основных ионов (химический состав вод, мг/дм<sup>3</sup>).

К основным ионам относят обычно 7 компонентов солевого состава вод: катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  и анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Содержание ионов определяют с помощью лабораторного гидрохимического анализа и выражают в мг/дм<sup>3</sup> (г/л, мг/л).

Пересчет мг/дм<sup>3</sup> в мг-экв/дм<sup>3</sup> дает возможность выразить содержание элементов и соединений в эквивалентной форме, т. е.

в химически равноценных единицах, пропорционально которым они вступают в реакцию.

Характеристику химического состава вод дают в виде формулы Курлова, где содержание ионов приводится в процент-эквивалентах (%-экв).

*Показатели 2-й группы* характеризуют балансовые соотношения между приходом и расходом химических элементов в природных системах в процессе водной миграции. Основными из таких показателей являются:

1)  $P_u$  (ионный сток) – произведение концентрации химического соединения или иона в речных водах на величину водного стока реки за год;

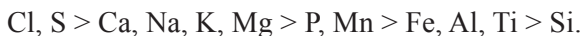
2)  $K_u$  (коэффициент гидрогеохимической активности) – отношение количества элемента, выносимого стоком, к количеству элемента, поступающего с осадками на данную территорию.

*Показатели 3-й группы* характеризуют интенсивность водной миграции элементов, их расчет основан на сопоставлении химического состава вод и осадочных пород. К ним относятся такие показатели как:

1)  $T$  (талассофильность) – отношение содержания элемента в водах Мирового океана к кларку литосферы;

2)  $K_x$  (коэффициент водной миграции) – отношение содержания элемента в минеральном остатке природных вод к его содержанию в горных породах.

Сопоставление состава вод и пород было предложено К.Х. Смитом и развито Б.Б. Польшовым [5]. Установлено, что элементы вымываются из пород с различной скоростью, составлены ряды элементов согласно снижению их водной миграционной активности:



Было выявлено, что воды не только растворяют минералы горных пород, но и получают элементы, высвобождающиеся в процессе биологического круговорота. Так, калий и натрий близки по своим химическим свойствам, но характеризуются разной интенсивностью водной миграции. Высокая подвижность хлора в водах объясняется не только его химическими свойствами, но и слабой биологической активностью. Калий, наоборот, активно накапливается в растениях и поэтому менее подвижен в водах.

Для определения интенсивности миграции химических элементов в подземных и поверхностных водах используется

коэффициент водной миграции ( $K_x$ ), отражающий соотношение содержаний элементов между горными породами и дренирующими их водами:

$$K_x = \frac{M_x \times 100}{a \times n_x},$$

где  $M_x$  – содержание элемента в воде, г/дм<sup>3</sup> (или г/л);  $n_x$  – содержание элемента в водовмещающих породах или кларковое содержание в земной коре, %;  $a$  – минерализация воды, г/дм<sup>3</sup> (или г/л).

Коэффициенты водной миграции различных элементов изменяются от сотых долей единицы до десятков и сотен, что позволило Б.Б. Полюнову и А.И. Перельману все химические элементы по интенсивности водной миграции в растворенном состоянии разделить (табл. 10) на пять основных групп:

1) очень сильной миграции (10 ÷ 100 и более): Cl, N, S, J, Br, Ag, Sb, Hb, Se, Cd;

2) сильной миграции (1 ÷ 10): As, B, Mo, Ca, Zn, Sr, Cu, Mg, Na, Sn, F;

3) средней миграции (0,1 ÷ 1): U, P, Ni, Li, Pb, K, Co, Ba, Cr, Y, Si, Fe, Mn, V;

4) слабой и очень слабой (0,01 и менее ÷ 0,1): Al, Th, Ga, Ti, Sc.

*Рассмотрим пример.* В воде реки содержатся: кремний – 10<sup>-2</sup> г/дм<sup>3</sup>; цинк – 5 × 10<sup>-5</sup> г/дм<sup>3</sup>. Содержание цинка в горной породе, находящейся в контакте с водами реки – 8,3 × 10<sup>-3</sup> %, а кремния – 29,5 %. Минерализация – 0,5 г/дм<sup>3</sup>. Рассчитаем коэффициенты водной миграции для кремния и цинка по формуле:

$$K_x = \frac{M_x \times 100}{a \times n_x}.$$

В итоге получаем  $K_{Zn} = 1,2$ ;  $K_{Si} = 0,07$ .

**Вывод:** цинк мигрирует в 17 раз интенсивнее кремния, хотя кремния в воде больше, чем цинка.

Интенсивность водной миграции элементов может изменяться в зависимости от ландшафтно-геохимической обстановки. Одни элементы, особенно переменной валентности (молибден, уран, сера и др.), характеризуются контрастной миграцией в разных ландшафтных условиях, другие (алюминий, титан, цирконий и др.) ведут себя более однообразно.

**Табл. 10. Определение интенсивности миграции элементов в природных водах**

Интенсивность миграции	Коэффициент водной миграции
Очень сильная	$\geq 10 n$
Сильная	$(1-10) n$
Средняя	$(0,1-1,0) n$
Слабая	$(0,01-0,1) n$
Очень слабая	$\leq 0,01 n$

*Примечание:*  $n$  – целое число от 1 до 10.

При рассмотрении влияния техногенной нагрузки на изменения интенсивности миграции используют отношение  $K_{x2}/K_{x1}$ , где  $K_{x1}$  – интенсивность миграции без техногенной нагрузки или фоновая величина;  $K_{x2}$  – интенсивность миграции, определяемая в местах техногенного загрязнения в данное время. При сравнении необходимо рассматривать участки ландшафтов, сложенные породами близкого состава.

*Талассофильность* характеризуется величиной отношения кларка концентрации элемента в океане относительно кларка в земной коре. Талассофильность определяется по формуле:

$$T_x = M_x / n_x,$$

где  $T_x$  – талассофильность;  $M_x$  – содержание элемента в морской воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $n_x$  – содержание элемента в земной коре, мг/кг.

Зная общее количество элемента в океане и его ежегодный приток реками, можно ориентировочно рассчитать «время пребывания элемента в океане». Элементы, образующие ионы легкорастворимых солей ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  и т.д.), накопились в океане, их время пребывания – сотни и десятки миллионов лет. Время пребывания многих металлов меньше – сотни и тысячи лет, они не накапливаются в морской воде. Элементы с высокой талассофильностью надолго задерживаются в океане, с низкой – быстро его покидают. Талассофильность велика у хлора, водорода, брома и мала у железа, кремния, бария.

Использование показателей талассофильности даёт возможность выявить источники поступления элементов в воды Мирового океана.

## Практическая работа № 6. Показатели водной миграции химических элементов

В процессе выполнения этого занятия студенты должны выполнить следующие виды самостоятельной работы.

### Задание 1

Занести в таблицу данные о составе вод реки, содержащиеся в индивидуальном задании. Для определения доли каждого иона в солевом составе вод пересчитать содержание ионов в мг-экв/дм<sup>3</sup> по формуле:

$$C \text{ (мг-экв/дм}^3\text{)} = C \text{ (мг/дм}^3\text{)} \times K_n,$$

где  $C$  – содержание иона в водах;  $K_n$  – коэффициент пересчета (табл. 11).

Табл. 11. Коэффициенты пересчета содержания катионов и анионов из мг/дм<sup>3</sup> в мг-экв/дм<sup>3</sup> ( $K_n$ )

Ионы	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
$K_n$	0,05	0,0822	0,0435	0,0256	0,0164	0,0282	0,0208

Далее рассчитать процентное содержание ионов в %-экв отдельно для катионов и анионов исходя из равенства:

$$\Sigma \text{ мг-экв/дм}^3 = 100 \text{ \%}.$$

Состав природных вод может записываться в виде таблиц или формул (способ Курлова). В последнем случае состав воды записывается в виде дроби.

Слева перед дробью в виде химической формулы записываются растворенные газы и примеси микроэлементов с указанием их содержания (мг/дм<sup>3</sup>), а затем значение минерализации воды ( $M$ ) в г/дм<sup>3</sup> с точностью до одного десятичного знака.

В числителе дроби в порядке уменьшения концентрации записываются символы анионов с указанием их %-экв., в знаменателе – символы катионов с указанием их %-экв.

В правой части формулы записывают показатели, характеризующие состояние воды (рН и  $Еh$ ) и температуру (°С), а также перманганатную окисляемость в мгО/дм<sup>3</sup>. Для сильноминерализованных вод и рассолов в конце формулы проставляют плотность воды.

Исходя из данных, представленных в виде формулы Курлова, формулируется название химического состава вод, соблюдая следующий порядок:



1) в названии используются только катионы и анионы с долей более 25 %;

2) сначала дается название анионного, затем катионного состава вод;

3) анион и катион с наибольшим весом ставятся на последнее место.

Например: для речной воды с минерализацией 0,1 г/дм<sup>3</sup>, содержащей растворенный углекислый газ (1000 мг/л) и имеющий химический состав:

– катионы, 10<sup>-3</sup> г/дм<sup>3</sup>: Na<sup>+</sup> – 5,8; Mg<sup>2+</sup> – 3,4; Ca<sup>2+</sup> – 20; K<sup>+</sup> – 2,1;

– анионы, 10<sup>-3</sup> г/дм<sup>3</sup>: Cl<sup>-</sup> – 5,7; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 12; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 35,

формула Курлова имеет вид

$$\text{CO}_2(1000)\text{M}\left(\frac{0,1}{0,97}\right) = \frac{\text{HCO}_3(58,8)\text{SO}_4(24,7)\text{Cl}(16,5)}{\text{Ca}(63,3)\text{Mg}(17,7)\text{Na}(15,8)\text{K}(3,4)}$$

и соответствует названию «сульфатно-гидрокарбонатная-кальциевая».

## Задание 2

Построить солевой профиль, отражающий изменение ионного состава речных вод по направлению их течения.

На оси абсцисс обозначить виды природных вод: атмосферные осадки – речные воды выше по потоку – речные воды ниже по потоку. По оси ординат вверх от центральной оси последовательно (методом накопительной диаграммы) отложить содержания анионов, вниз – катионов, выраженные в мг-экв/дм<sup>3</sup>. Профиль каждого иона закрасить определенным цветом.

## Задание 3

Рассчитать коэффициент интенсивности водной миграции для химических элементов (Ca, Mg, Na, Cl) по формуле:

$$K_x = \frac{M_x \times 100}{a \times n_x},$$

где  $M_x$  – содержание элемента в воде, мг/дм<sup>3</sup>;  $n_x$  – кларк этого элемента в литосфере, %;  $a$  – минерализация воды, мг/дм<sup>3</sup>.

Результаты расчетов занести в табл. 12.

Занести индексы исследуемых элементов в табл. 13 в соответствии с величиной интенсивности водной миграции.

**Табл. 12. Интенсивность водной миграции элементов ( $K_x$ )**

Речные воды	Ca	Mg	Na	Cl
Выше по потоку				
Ниже по потоку				
Кларк литосферы, %	2,96	1,87	2,50	0,017

**Табл. 13. Ряды водной миграции химических элементов**

Миграционная активность элементов ( $K_x$ )	Речные воды выше по потоку	Речные воды ниже по потоку
Очень сильная ( $n > 10$ )		
Сильная ( $n = 1-10$ )		
Средняя ( $n = 0,1-1$ )		
Слабая и очень слабая (0,01-0,1 и менее)		

#### Задание 4

Сравнить речные воды выше и ниже по потоку по показателю: минерализация, химический состав речных вод, интенсивность водной миграции элементов.

#### Задание 5

Для расчёта талассофильности воспользоваться данными по содержанию химических элементов в морской воде и кларками этих же элементов в литосфере (табл. 14).

Необходимо построить ранжированный ряд талассофильности в виде неравенства, где по мере убывания  $T_x$  в числителе псевдодробии показан символ элемента, в знаменателе – величина  $T_x$ , а также дать анализ расположения химических элементов в ряду талассофильности с учетом их растворимости и содержанием в морской воде.

**Табл. 14. Содержание химических элементов в морской воде и кларки литосферы**

Элементы	Содержание в морской воде, мг/дм <sup>3</sup>	Кларк литосферы, мг/кг	Элементы	Содержание в морской воде, мг/дм <sup>3</sup>	Кларк литосферы, мг/кг
Вариант 1			Вариант 2		
N	0,5	86	Al	$5 \times 10^{-4}$	76100
Va	0,01	628	V	$1,5 \times 10^{-3}$	106
B	4,5	34	I	0,05	0,49
Br	67	1,6	Ca	414	25660

Элементы	Содержание в морской воде, мг/дм <sup>3</sup>	Кларк литосферы, мг/кг	Элементы	Содержание в морской воде, мг/дм <sup>3</sup>	Кларк литосферы, мг/кг
W	10 <sup>-5</sup>	2,03	Li	0,18	40
Cd	8 × 10 <sup>-5</sup>	0,09	Cu	10 <sup>-4</sup>	27
K	399	23240	Sc	7 × 10 <sup>-6</sup>	25
Co	2 × 10 <sup>-6</sup>	15	Ti	10 <sup>-3</sup>	3900
Sr	7,7	270	Cl	19400	640
P	0,07	690	Cs	3 × 10 <sup>-4</sup>	4,9
Вариант 3			Вариант 4		
Au	5 × 10 <sup>-6</sup>	1,5 × 10 <sup>-3</sup>	Fe	5 × 10 <sup>-5</sup>	40600
Mg	1290	14950	Si	2,8	275000
Mn	3 × 10 <sup>-5</sup>	770	La	5 × 10 <sup>-6</sup>	32
Mo	0,01	1,1	Na	10800	24260
As	1,5 × 10 <sup>-3</sup>	5,6	Sn	10 <sup>-6</sup>	2,5
Ni	4 × 10 <sup>-4</sup>	50	Hg	2 × 10 <sup>-6</sup>	0,065
Pb	2 × 10 <sup>-6</sup>	17	Sb	1,5 × 10 <sup>-4</sup>	0,81
S	904	953	C	295	3240
Ag	3 × 10 <sup>-6</sup>	0,053	F	1,3	557
Cr	2,5 × 10 <sup>-4</sup>	92	Zn	4 × 10 <sup>-4</sup>	75

## Литература

1. *Алексеевко В.А.* Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
2. *Перельман А.И.* Геохимия: учебник. – М., 1989. – 528 с.
3. *Ковальчик Н.В. и др.* Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии : учеб.-метод. пособие. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с.
4. *Шишкина Д.Ю., Коханистая Н.В.* Геохимия окружающей среды: учеб.-метод. пособие. – Ростов-на-Дону, 2016. – 56 с.
5. *Труфанов А.И.* Геохимия окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб. пособие. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 78 с.

## 4.2. Биогенная миграция

**Цель работы:** ознакомиться с основными понятиями и факторами, влияющими на биогенную миграцию химических элементов в биосфере. Освоить методики расчета коэффициентов

биологического поглощения химических элементов и оценки биогеохимической активности различных видов растений.

### Теоретическая часть

Наиболее обобщенный показатель интенсивности биогенной миграции элемента – его *биофильность* (Б), равная отношению кларка элемента в живом веществе к его кларку в литосфере (на сырую массу, т. е. с учетом воды и органических соединений, содержащихся в живых организмах).

Для оценки интенсивности биологического поглощения элемента Б.Б. Полюнов предложил использовать отношение содержания элемента в золе растения к его содержанию в породе. Этот показатель А.И. Перельман назвал *коэффициентом биологического поглощения*  $A_x$  (в некоторых случаях обозначают как КБП или  $K_{\phi}$ ):

$$\text{КБП } (A_x) = l / n,$$

где  $l$  – содержание элемента в золе растения, мг/кг;  $n$  – его содержание в почвах или горных породах, на которых оно растёт (мг/кг), а также кларк литосферы.

Все элементы по интенсивности биологического поглощения можно разделить на две группы. К первой группе относятся элементы, концентрация которых в золе больше, чем в земной коре, т. е.  $A_x > 1$ . Эти элементы «накапливаются» живым веществом, причём Р, S, Cl, Br, I – энергично, а Ca, Na, K, Mg и др. – сильно. Ко второй – элементы, у которых  $A_x < 1$ , и они «захватываются», причём одни – средне, другие – слабо и очень слабо.

Необходимо учитывать, что это средние данные, и у отдельных видов величины  $A_x$  сильно варьируют.

Ранжированные значения КБП образуют ряды биологического поглощения элементов, отражающие особенности биологических циклов элементов на той или иной территории, а также видовые особенности организмов.

Для количественного выражения общей способности вида растений к концентрации микроэлементов предложен специальный показатель – *биогеохимическая активность вида* (БХА). Показатель БХА выражает активность растений к накоплению микроэлементов. Он рассчитывается как сумма коэффициентов биологического поглощения микроэлементов в золе растения:

$$\text{БХА} = \Sigma \text{КБП.}$$

Величина БХА наглядно выявляет основные различия в интенсивности вовлечения элементов в биологический круговорот растениями разных систематических групп. Кроме того, использование суммарного показателя позволяет обнаружить повышенное (пониженное) накопление элементов каким-либо растением, которое часто не проявляется при изучении КБП отдельных элементов.

Известно, что наибольшая биогеохимическая активность характерна для древесных пород, а из них – для хвойных (сосна). Довольно высоки показатели БХА для растений семейства бобовых и разнотравья.

Пониженную биогеохимическую активность к поглощению микроэлементов проявляют осоки и злаки. Иногда показатель БХА рассчитывают отдельно для катионо- и анионогенных элементов, чтобы выявить центры их видообразования.

Коэффициенты биологического поглощения объединяются в ряды, в которых элементы располагаются в порядке убывающей энергии поглощения их растениями. Обычно они изображаются в таблицах или в виде системы неравенств.

Другой аспект анализа БХА (особенно БХА<sub>2</sub>, рассчитанной на основании  $A_{x2}$ ) – общая оценка интенсивности биогенной аккумуляции элементов в условиях конкретных ландшафтов.

**Табл. 15. Ряды биологического поглощения (по А.И. Перельману)**

Группы элементы	Коэффициенты биологического поглощения	Примеры элементов
Энергичного накопления	> 10	P, S, Cl, Br, I
Сильного накопления	1–10	Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se
Среднего захвата	0,1–1	Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra
Слабого и очень слабого	< 0,1	Si, Al, Fe, Ti, Zr, Rb, V, Cr, Li, Y, Nb, Th, Sc, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd

Сравнение вещественного состава золы растений проводят двояко: используют в качестве эталона кларки литосферы ( $A_{x1}$ ) или более частные величины – местные кларки в породах и почвах ( $A_{x2}$ ). Для их различения иногда  $A_{x1}$  называют кларком концентрации в растениях, а не КБП.

Очевидно, значения полученных коэффициентов  $A_{x1}$  и  $A_{x2}$  и составленные на их основе ряды биологического поглощения не будут идентичны. В общем случае несоответствие I рода ( $A_{x1} > A_{x2}$ )

особенно явно должно проявляться при исследовании ландшафтов в пределах месторождений, когда местные кларки в породах намного превышают их содержание в литосфере.

Расхождения II рода ( $A_{x1} < A_{x2}$ ) будут особенно заметны, когда рассматриваются растения ландшафтов, формирующихся на породах, резко обеднённых элементами, например, на кварцевых песках.

Информативность геохимических показателей в зависимости от способа проведения расчёта неодинакова. Так, анализ  $A_{x1}$  позволяет выявить особенности биологического поглощения элементов растениями разного систематического положения; определяет порядок величин, характеризующих их вещественный состав и примерные соотношения между элементами; выделяет элементы, необходимые для жизни растений и практически не захватываемые ими.

Вычисление  $A_{x2}$  даёт возможность конкретизировать эти общие представления применительно к условиям изучаемых ландшафтов и подчеркнуть местные черты биологического поглощения, выявить региональную биогеохимическую специфику растений.

Таким образом, представляется целесообразным совместное использование этих показателей. Сопоставление полученных данных несёт дополнительную информацию по биогенной миграции элементов в ландшафтах.

Другой аспект анализа БХА (особенно БХА<sub>2</sub>, рассчитанной на основании  $A_{x2}$ ) – общая оценка интенсивности биогенной аккумуляции элементов в условиях конкретных ландшафтов.

## **Практическая работа № 7.**

### **Показатели биогенной миграции**

#### **Задание 1**

Рассчитать коэффициенты биологического поглощения ( $A_{x1}$  и  $A_{x2}$ ) и БХА для двух видов растений, выбранных из табл. 16.

#### **Задание 2**

Для каждого растения построить ранжированные ряды биологического поглощения в виде неравенств, где по мере убывания КБП в числителе псевдодробь показан символ элемента, в знаменателе – величина КБП.

Пример: КБП рожь:  $Cu/4,5 > Ni/2,2 > Mn/1,6 > Co/1,5 > V/1,1 > Pb/0,9 > Ti/0,2$ ; БХА =12.

Сравнить между собой ряды биологического поглощения для выбранных растений.

### Задание 3

Сопоставить полученные ряды с рядами А.И. Перельмана. Для этого полученные значения  $A_x$  необходимо занести в табл. 17 и провести сравнение с рядом интенсивности биологического поглощения А.И. Перельмана. Выявить сходства и различия в интенсивности поглощения элементов рассмотренными растениями.

*Исходные данные.* Для выполнения работы представляются данные о содержании элементов в золе основных сельскохозяйственных культур Ростовской области, а также в почвах этого региона и кларки литосферы (табл. 16).

**Табл. 16. Среднее содержание химических элементов в золе основных сельскохозяйственных культур и почвах, мг/кг**

Культуры	Элементы										
	Sr	Ti	Mn	Cr	V	Ni	Cu	Zn	Pb	Mo	B
Пшеница	141	63	1715	6,9	3,6	17,6	224	1087	16	2,3	57
Ячмень	106	104	847	4,3	3,5	4,4	135	653	27	18	51
Рис	100	600	4750	7,0	13,8	12,9	29	265	16	6,3	56
Горох	386	128	586	3,8	2,7	64	213	954	4	136	286
Люцерна	846	138	341	9,9	5,7	8,8	96	269	26	12	553
Суданская трава	400	230	500	24	22	9	100	390	38	9	219
Капуста	333	85	200	7,1	3,0	9,7	41	163	37	3,7	367
Помидоры	300	394	957	3,1	6,3	11	112	203	13	2,0	171
Яблоки	361	246	358	13,7	3,3	12,7	195	215	13	1,5	800
Виноград	327	245	370	4,8	3,8	4,0	249	102	6,9	0,9	613
Почвы мира	300	4600	850	200	100	40	20	50	10	2,0	10
Почвы Ростовской области	45,8	4745	725	61,9	96,0	41,0	34,8	84,3	24,0	0,9	50

**Табл. 17. Ряды биологического поглощения**

Группы элементов	Величина коэффициента биологического поглощения, $A_x$	Примеры по А.И. Перельману	Для (растение 1)	Для (растение 2)
Энергичного накопления	> 10			
Сильного накопления	1–10			

Группы элементов	Величина коэффициента биологического поглощения, $A_x$	Примеры по А.И. Перельману	Для (растение 1)	Для (растение 2)
Среднего захвата	0,1–1			
Слабого и очень слабого захвата	< 0,1			

## Литература

1. *Алексеевко В.А.* Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
2. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. – М.: Астрей, 1999. – 768 с.
3. Геохимия окружающей среды: учебное пособие / сост. О.А. Поспелова. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 134 с
4. *Ковальчик Н.В. и др.* Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с.
5. *Шишкина Д.Ю., Коханистая Н.В.* Геохимия окружающей среды: учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону, 2016. – 56 с.

## 4.3. Техногенная миграция

**Цель работы:** оценить уровень накопления химических элементов в почвах, находящихся под влияния полигонов хранения отходов. Дать количественную оценку исследуемым почвам по показателям загрязнения и составу ассоциации элементов-загрязнителей.

### Теоретическая часть

Под техногенной миграцией элементов понимают совокупность геохимических и минералогических процессов, вызванных хозяйственной деятельностью человека. В результате техногенного воздействия в компонентах природной среды формируются участки с повышенным содержанием некоторых химических элементов – техногенные геохимические аномалии. По охвату территории аномалии могут быть глобальными, региональными или



локальными. Оценка аномальности химического состава природного компонента, измененного техногенезом, основывается на сопоставлении с фоновыми аналогами.

Для оценки степени загрязнения почв и техногенные аномалии обычно рассчитываются *суммарный показатель загрязнения*  $Z_c$ , характеризующий эффект воздействия группы элементов.

Показатель  $Z_c$  рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n - 1),$$

$$K_{ci} = C_i / C_{\phi i},$$

где  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го элемента, равный отношению фактической концентрации ( $C_i$ ) к фоновой ( $C_{\phi i}$ );  $n$  – число элементов, характеризующих загрязнение почв, т. е. для которых  $K_{ci} > 1$ .

$$K_c = C_i / C_{\phi},$$

причем  $K_c > 1$ .

Оценка опасности загрязнения почв комплексом элементов по показателю  $Z_c$  проводится по оценочной шкале, данные которой увязаны с показателями здоровья населения, проживающего на территориях с различным уровнем загрязнения почв (табл. 18).

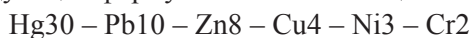
**Табл. 18. Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения**

Категория загрязнения почв	Величина $Z_c$	Изменение показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16–32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32–128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

Показатели загрязнения рассчитываются для различных компонентов ландшафта – почв, снега, донных отложений. Этот показатель может определяться как для содержания в отдельной

пробе, так для участка территории (района, функциональной зоны, очага ореола). В последнем случае исследование ведется по геохимическим выборкам. Анализ распределения геохимических показателей  $Z_c$  дает пространственную структуру загрязнения селитебных территорий и воздушного бассейна с наибольшим риском для здоровья населения.

Оценка опасности загрязнения почв комплексом элементов по показателю  $Z_c$  проводится по оценочной шкале (табл. 18). Каждая выборка может быть представлена в виде набора относительных характеристик аномальности содержания химических элементов. Например, городская ассоциация может быть представлена следующей формулой накапливающихся элементов:



(цифровые индексы около символов элементов представляют собой значения коэффициентов концентрации  $K_c$ ).

## Практическая работа № 8. Показатели техногенной миграция

В табл. 19 для этой работы предоставлены исходные данные, взятые из [22], отражающие содержание десяти химических элементов в верхнем почвенном горизонте на территории одного из крупных промышленных центров.

**Табл. 19. Содержание химических элементов  
в верхнем почвенном горизонте, мг/кг**

№ профиля	№ точки	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn	Sn
1	1	500	30	8	80	150	1,5	30	20	100	3
	2	600	20	10	100	200	2	40	30	150	4
	3	600	20	10	100	500	4	100	150	500	10
	4	600	20	10	200	600	2	150	200	400	6
	5	600	20	8	150	400	3	200	200	600	8
	6	800	20	8	100	200	2	100	600	200	4
2	1	600	40	15	150	150	1,5	40	30	100	3
	2	600	20	10	150	300	2	300	150	500	10
	3	800	20	10	150	400	1,5	500	150	2000	10
	4	500	20	10	100	150	2	300	500	500	20
	5	1500	40	30	200	500	8	400	500	600	3
	6	2000	20	6	150	2000	4	150	100	800	20

№ про- филя	№ точки	Mn	Ni	Co	V	Cr	Mo	Cu	Pb	Zn	Sn
3	1	600	20	8	100	200	1,5	60	80	1500	10
	2	600	30	8	200	150	1,5	500	400	1000	15
	3	1000	40	10	200	400	3	150	150	2000	100
	4	1000	20	10	150	600	3	400	1500	2000	200
	5	2000	20	8	150	800	4	1000	3000	1500	20
	6	2000	50	30	200	800	4	500	3000	3000	5
4	1	500	30	10	150	300	3	80	500	200	3
	2	1500	20	15	300	500	2	200	300	500	30
	3	800	50	20	300	1000	4	400	800	2000	15
	4	2000	30	20	150	1000	10	1000	1500	2000	40
	5	3000	80	30	300	2000	15	1000	1500	2000	100
	6	2000	60	30	400	1500	10	1000	1500	3000	200
5	1	800	20	8	100	150	3	40	40	200	4
	2	1500	30	15	200	300	5	100	300	500	10
	3	800	20	10	100	300	1,5	400	600	400	10
	4	3000	40	20	400	1000	15	1000	1500	800	30
	5	1000	80	20	200	2000	3	200	150	800	20
	6	600	20	10	150	300	6	300	1000	500	30
6	1	600	30	10	100	200	2	30	30	60	3
	2	800	30	8	150	200	2	50	60	150	3
	3	500	20	10	150	600	10	40	50	300	60
	4	600	30	15	100	200	3	200	150	800	6
	5	800	20	8	150	800	2	300	100	500	5
	6	800	30	20	300	400	1,5	200	300	200	15

На рис. 5 приведена схема расположения точек опробования верхнего почвенного горизонта.

### Задание 1

Рассчитать суммарный показатель загрязнения с учётом следующих фоновых содержаний элементов, мг/кг: Mn – 700; Cr – 120; V – 100; Zn – 75; Cu – 30; Ni – 25; Pb – 25; Co – 12; Sn – 3,3; Mo – 1,8.

### Задание 2

Построить схему районирования территории по величине  $Z_c$  и выделить зоны с различными категориями загрязнения

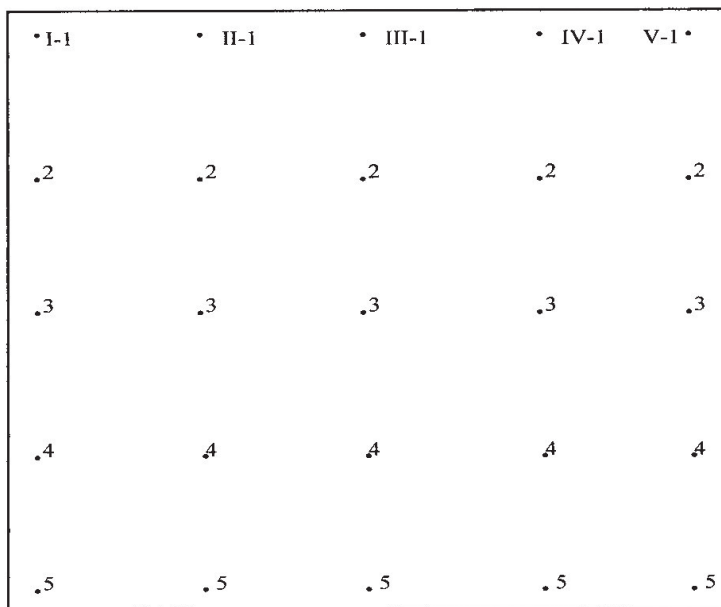


Рис. 5. Схема расположения точек опробования  
поверхностного горизонта почв

по схеме на рис. 5 с использованием изолиний показателя загрязнения, равными 16, 32, 64, 128.

### Задание 3

Составить геохимическую формулу для каждой точки опробования.

## Литература

### Основная

1. *Алексеев В.А. и др.* Геохимия окружающей среды: учеб. пособие для вузов. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2013. – 359 с.
2. *Алексеев В.А.* Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с.

3. *Сает Ю.Е., Ревич В.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
4. *Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976. – 248 с.
5. *Фортескью Дж.* Геохимия окружающей среды / пер. с англ. – М.: Прогресс, 1985. – 360 с.
6. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. – М.: Астрей, 1999. – 768 с.
7. Справочник по геохимии. / Г.В. Войткевич, А.Г. Кокин, А.Е. Мирошников и др. – М.: Недра, 1990. – 480 с.

### ***Дополнительная***

1. Химия окружающей среды / под ред. Дж.О.М. Бокриса. – М.: Химия, 1982. – 671 с.
2. *Андруз Дж.* Введение в химию окружающей среды / пер. с англ. – М., 1999. – 271 с.
3. *Перельман А.И.* Геохимия: учебник. – М., 1989. – 528 с.
4. *Чертко Н.К.* Геохимическая экология. – Минск, 2002. – 79 с.
5. *Чертко Н.К.* Геохимия: учеб. пособие. – Минск: БГУ, 2008. – 170 с.
6. Геохимия ландшафта: учеб. пособие / под ред. Н.К. Чертко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: БГУ, 2011. – 303 с.
7. *Мычко Д.И.* Физико-химические основы геохимии. – Минск: БГУ, 2015. – 303 с.
8. *Касимов Н.С., Власов Д.В.* Технофильность химических элементов в начале XXI века // Вестник МГУ. Сер. 5. География. – 2012. – № 1. – С. 15–22
9. *Касимов Н.С., Власов Д.В.* Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Известия Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. – № 2. – С. 7–17.
10. *Тарасова Н.П. и др.* Задачи и вопросы по химии окружающей среды. – М.: Мир, 2002. – 368 с.
11. *Постников А.В., Журавлева Л.М.* Руководство к лабораторным занятиям по геохимии. Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2010. – 37 с.
12. Геохимия окружающей среды: учебное пособие / сост. О.А. Пospelова. – Ставрополь: СтГАУ, 2013. – 134 с.
13. *Труфанов А.И.* Геохимия окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб. пособие. – Вологда: ВоГУ, 2014. – 78 с.

14. *Рожнова А.А.* Общая геохимия: учебное пособие (практикум для лабораторных работ). – Ставрополь, 2017. – 64 с.

15. *Шишкина Д.Ю., Коханистая Н.В.* Геохимия окружающей среды: учебно-методическое пособие. – Ростов-на-Дону, 2016. – 56 с.

16. Геохимия окружающей среды: учебно-методическое пособие / сост. И.В. Борисова, Р.А. Шарафутдинов. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013.

17. *Ивлиева О.В., Гарькуша Д.Н., Лукьянченко А.Д.* Методические указания к практическим занятиям по курсу «Геоэкологический мониторинг» (раздел – мониторинг состояния почв). – Ростов-на-Дону, 2005. – 34 с.

18. *Прохорова Н.В.* Ландшафтный подход в региональных эколого-геохимических исследованиях // Известия Самарского научного центра РАН. – 2004. – № 2, Т. 6. – С. 259–265.

19. *Ковальчик Н.В. и др.* Распространенность и виды миграции химических элементов. Практикум по геохимии : учеб.-метод. пособие. – Минск: БГУ, 2017. – 111 с.

# Содержание

Введение . . . . .	3
1. Распространенность химических элементов в природе. . . . .	3
Практическая работа № 1. Расчет кларков элементов. . . . .	8
Практическая работа № 2. Распространенность элементов в биосфере . . . . .	10
2. Геохимическая классификация химических элементов. . . . .	13
Практическая работа № 3. Геохимическая классификация по А.Е. Ферсману, В.М. Гольдшмидту и А.Н. Зваричскому . . . . .	19
3. Распределение и концентрация химических элементов в литосфере и педосфере . . . . .	20
Практическая работа № 4. Кларки концентрации и рассеяния литосферы . . . . .	21
Практическая работа № 5. Кларки концентрации и рассеяния педосферы . . . . .	25
4. Миграционные процессы в биосфере . . . . .	28
4.1. Водная миграция . . . . .	28
Практическая работа № 6. Показатели водной миграции химических элементов . . . . .	32
4.2. Биогенная миграция . . . . .	35
Практическая работа № 7. Показатели биогенной миграции. . . . .	38
4.3. Техногенная миграция . . . . .	40
Практическая работа № 8. Показатели техногенной миграция . . . . .	42
Литература . . . . .	44

*Учебное издание*

# ГЕОХИМИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Практикум*

*Составитель М.М. Мансуров*

*Начальник РИО А.В. Ляхтейнен*

*Редактор Л.Ю. Кладова*

*Верстка М.В. Ивановой*

---

Подписано в печать 22.09.2022. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура Times New Roman.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 3. Тираж 10 экз. Заказ № 1275.  
РГГМУ, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул., 79.

---