

**БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
**Кафедра почвоведения**  
**и земельных информационных систем**

---

**Л. И. Смыкович**

**ГЕОХИМИЯ:**  
**ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ**

**Практикум**  
**для студентов специальностей**  
**1-31 02 01 «География»,**  
**1-31 02 02 «Гидрометеорология»,**  
**1-31 02 03 «Космоаэрокартография»,**  
**1-33 01 02 «Геоэкология»**

---

**МИНСК**  
**2015**

УДК 550.424:551.14(076.5)(075.8)+550.424:550.4(076.5)(075.8)  
ББК 40.3я73  
С52

Рекомендовано  
учебно-методической комиссией  
географического факультета БГУ  
21 января 2015 г., протокол № 5

Рецензент  
доктор географических наук,  
профессор *Н. К. Чертко*

**Смыкович, Л. И.**

С52      Геохимия: водная миграция : практикум для студентов специальностей 1-31 02 01 «География», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1 -33 01 02 «Геоэкология» / Л. И. Смыкович. – Минск : БГУ, 2015. – 21 с.

Практикум содержит разработки по изучению особенностей водной миграции химических элементов. Даны теоретические пояснения, разработаны индивидуальные задания по теме «Водная миграция», приведены примеры выполнения работы.

**УДК 550.424:551.14(076.5)(075.8)+550.424:550.4(076.5)(075.8)**  
**ББК 40.3я73**

©БГУ, 2015

## Тема. ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ

### 1.1. Коэффициенты и ряды водной миграции элементов

Под водной миграцией понимается миграция, главным агентом которой является вода. Вода – «кровь ландшафта», это значит, что она проникает во все компоненты ландшафта, объединяет их системой связей и реализует совершенные связи в гумидных ландшафтах. Водная миграция связана с биогенной, т.к. щелочно-кислотные и окислительно - восстановительные условия вод связаны с геохимическими особенностями ландшафта. Кроме того, перемещение элемента в воде обусловлено физико-химическими законами: химические элементы в воде могут находиться в виде ионов, молекул, адсорбированных частичек, взвесей. Разные химические элементы находятся в различном состоянии: Si преимущественно во взвешях, Ca, Mg - в растворах в виде ионов и т.д. Все элементы есть во всех водах, но со значительными колебаниями концентрации. Сопоставление химического состава вод и других компонентов ландшафта позволяет выявить многие важные особенности геологического и биологического круговоротов элементов.

Сопоставление состава вод и пород для выявления интенсивности водной миграции было предложено американским ученым Смитом К.Х. (1913). Разработка данного метода Полюновым Б.Б. (1933, 1935, 1947 и др.) позволила сделать выводы о том, что элементы попадают в воду с резко различной скоростью и связано это не только с разной способностью минералов к растворению, но и с биогенной аккумуляцией многих элементов – активных водных мигрантов. Биогенная аккумуляция – важный механизм задержания элементов в ландшафте. Поэтому при изучении геохимических особенностей ландшафта наиболее оправданным является комплексный анализ водной, биогенной и др. видов миграции. Например, K и Na, элементы со схожими свойствами, но интенсивность их поступления в воду различна: скорость поступления Na намного больше. Калий очень сильно захватывается растениями и, благодаря этому, накапливается в ландшафте. Интенсивностью участия в биологическом круговороте во многом объясняет то, что интенсивность водной миграции элементов часто не совпадает с их способностью растворения, т.е. с химическими свойствами. В геохимии составлены миграционные ряды, где химические элементы объединены в группы, отличающиеся друг от друга резким снижением миграционной способности в водах. Так, Cl и S – максимально подвижные элементы, этим объясняется их высокое содержание в океане; Ca, Na, Mg, K – элементы этой группы ча-

стично остаются в ландшафте, частично – выносятся, затем Р, Мп. Элементы Fe, Al, Ti относятся к инертным элементам, и замыкает ряд водной миграции кварц (SiO<sub>2</sub>).

Для количественного выражения миграционной способности элементов Перельманом А.И. (1956) был введен специальный геохимический показатель – коэффициент водной миграции  $k_x$ . Он рассчитывается как отношение содержания элемента в водах (%) к содержанию элемента в породах, дренируемых этими водами (%).

$$k_x = \frac{100 \times m_x}{a \times n_x}, \quad (1.1)$$

$m_x$  – содержание элемента в воде (г/л),  $n_x$  – содержание элемента в породе (литосфере) (%),  $a$  – минерализация вод (г/л);  $(100 \times m_x)/a$  – содержание элемента в воде (%).

$k_x$  может рассчитываться на кларк, тогда он обозначается  $k_{x1}$ , или на местные (региональные) кларки, тогда он обозначается  $k_{x2}$ .

По интенсивности водной миграции элементы образуют 4 ряда:

I – очень подвижные (высокоподвижные) мигранты:  $k_x \approx n \cdot 10 \div n \cdot 100$ ;

II – легкоподвижные мигранты:  $k_x \approx n$ ;

III – подвижные мигранты:  $k_x \approx n \times 10^{-1}$ ;

IV – слабоподвижные (инертные) мигранты:  $k_x < n \times 10^{-1}$ ,

где  $n$  – целое число.

Группировка элементов по интенсивности водной миграции позволяет построить геохимическую модель – ряды водной миграции, которые, как и ряды биологического поглощения, изображаются в виде таблиц и дробей. Анализ рядов водной миграции позволяет выделить круг элементов, которые интенсивно выносятся за пределы ландшафта, что создает потенциальные предпосылки для обеднения ландшафта этими элементами. Тогда другие элементы, имеющие  $k_x < 1$ , относительно накапливаются в рассматриваемой природной системе.

Ряд водной миграции автономных ландшафтов хвойных лесов H-класса Белорусского Полесья (индекс ландшафтов H/A) имеет вид:

$$\begin{array}{ccccccc} \text{S, Cl} & \text{Ca, Mg, Mn, K} & \text{P, Na} & \text{Fe} & & & \\ \hline > & > & > & & & \\ 100n & n & 0, n & 0, 0n & & & \end{array} \quad (1.2)$$

Табличный вариант ряда водной миграции автономных ландшафтов хвойных лесов *H*-класса:

	10n	10	1	0.1	0,01n	$k_x$
Очень подвижные мигранты	S, Cl					
Легкоподвижные мигранты		Ca, Mg, Mn, K				
Подвижные мигранты			P, Na			
Слабоподвижные и инертные				Fe		

*Коэффициент контрастности элемента.* Поведение одного и того же элемента может различаться в разных ландшафтно-геохимических условиях. Количественно степень изменения миграционной способности элементов выражается при помощи коэффициента контрастности элемента  $c_{\text{элемент.х}}$  (Перельман, 1965).

$$c_{\text{элемент.х}} = \frac{k_{x \text{ элем. в ландшафте 1}}}{k_{x \text{ элем. в ландшафте 2}}} \quad (1.3)$$

Особенно информативен коэффициент контрастности при изучении миграции химических элементов в сопряжении элементарных ландшафтов. Например, сравнение интенсивности водной миграции Ca, Mg, Fe, Mn при переходе от Н-Fe/Са- ландшафтов к Н/А- ландшафтам Мещеры показало, что  $c_{\text{Ca}} = 0,7$ ,  $c_{\text{Mg}} = 0,9$ , а  $c_{\text{Fe}} = 48$ ,  $c_{\text{Mn}} = 6,1$ . В условиях оглеения подвижность Fe и Mn резко увеличивается и они переходят в другую группу по интенсивности водной миграции [4].

**ЗАДАНИЕ 1. Рассчитать коэффициенты водной миграции элементов.**

*Исходные данные:* Индивидуальное задание (с.13-20), кларки элементов. Индивидуальное задание содержит характеристику 7-компонентного состава атмосферных осадков и грунтово-почвенных вод двух сопряженных элементарных ландшафтов Белорусского Полесья. Рассчитать  $k_{x1}$ ,  $k_{x2}$ ,  $c_{\text{элемент.х}}$  для K, Na, Mg, Ca, Cl в данных образцах вод.  
 2. Построить ряды водной миграции в виде таблицы (по  $k_{x1}$ ) и в виде дробей (по  $k_{x2}$ ).

3. Проанализировать интенсивность и контрастность водной миграции элементов.
4. Сравнить полученные данные по водам с геохимическими особенностями распределения этих элементов в растительности и почвах Беларуси (тема 1, 2).
5. Сделать выводы о некоторых особенностях перераспределения элементов в системе «почва-вода-растение».

**Пример выполнения.**

1. Вариант индивидуального задания.

Таблица 1

**Химический состав вод Беларуси**

	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	81,6	3,77	3,03	1,17	4,41	18,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	581,74	64,53	27,58	6,9	60,00	29,46	8,51	41,79
Воды подчиненной геосистемы	431,56	58,72	17,90	18,35	13,00	28,00	18,43	2,27

Кларки элементов, % вес.

$$K_{Ca}=2,96, \quad K_{Mg}=1,87, \quad K_{K}=2,50, \quad K_{Na}=2,50 \quad K_{Cl}=1,7 \times 10^{-2}.$$

2. Расчет  $k_{x1}$  проводится по вышеприведенной формуле (1.1), где  $m_x$  – содержание элемента в воде (мг/л или мг/дм<sup>3</sup>),  $n_x$  – кларк элемента (%), а – минерализация воды (мг/л или мг/дм<sup>3</sup>). Для вод автономной системы расчет выглядит так:

$$k_{xK} = 60,0 \times 100 / 581,74 \times 2,5 = 4,1$$

$$k_{xNa} = 6,9 \times 100 / 581,74 \times 2,5 = 0,47$$

$$k_{xMg} = 27,58 \times 100 / 581,74 \times 1,87 = 2,5$$

$$k_{xCa} = 64,53 \times 100 / 581,74 \times 2,96 = 3,7$$

$$k_{xCl} = 8,51 \times 100 / 581,74 \times 1,7 \times 10^{-2} = 86.$$

Аналогично рассчитать  $k_{x1}$  элементов для остальных водных объектов. Результаты расчетов занести в таблицу 2.

3. Расчет коэффициента контрастности элементов  $c_{\text{эле.м.х}}$  выполнить между подчиненной системой (в числителе) и автономной. Результаты записать в таблицу 2.

Таблица 2

Название таблицы (дается студентом)

	K	Na	Ca	Mg	Cl
Атмосф.ос.	4,4	1,8	2,5	6,1	512
Подчинен.сист.	7,6	1,2	4,6	3,7	536
Автоном.сист.	4,1	0,47	3,7	2,5	86
C <sub>x</sub>	1,8	2,5	1,2	1,5	6,2

## 4. Построить ряды водной миграции

Ряды строятся по тому же принципу, что и ряды биологического поглощения; т.е. элементы ранжируются по интенсивности водной миграции для каждого объекта исследования. Ряды водной миграции можно строить или в виде системы неравенств, или в виде таблицы.

$$\text{Атмосф. осадки:} \quad \frac{Cl}{100n} > \frac{Ca, Mg, K, Na}{n} ;$$

$$\text{Автоном. система:} \quad \frac{Cl}{10n} > \frac{Ca, Mg, K}{n} > \frac{Na}{0, n} ;$$

$$\text{Подчинен.система:} \quad \frac{Cl}{100n} > \frac{Ca, Mg, K, Na}{n} .$$

Табличный вариант ряда водной миграции будет выглядеть так:

	10n	10	1	0.1	k <sub>x</sub>
Очень подвижные мигранты	$\frac{Cl}{Cl}$				
Легкоподвижные мигранты		$\frac{Ca, Mg, K, Na}{Ca, Mg, K}$			
Подвижные мигранты				--	$\frac{Na}{Na}$

Cl, Ca, Mg, K, Na – атмосферные осадки;  
 Cl, Ca, Mg, K, Na – автономная система;  
 Cl, Ca, Mg, K, Na – подчиненная система.

## 1.2. Ионный состав вод

Кроме относительных геохимических показателей, представляющих собой различные коэффициенты, самостоятельный интерес представляют данные, характеризующие вещественный состав вод в абсолютных величинах. Высокой информативностью обладает ионный состав вод, изучение которого позволяет сопоставить различные категории вод в природных системах – почвенные, грунтовые, подземные и др. Для характеристики ионного состава вод и почв обычно проводится определение содержания 6 (7) основных ионов (6 (7)-компонентный состав): катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$  (или  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) и анионы  $\text{HCO}_3^-$  (гидрокарбонат – ион),  $\text{SO}_4^{2-}$  (сульфат – ион),  $\text{Cl}^-$  (хлорид – ион). Результаты анализа выражают в мг/л (г/л, мг/дм<sup>3</sup>). Пересчет мг/л в мг-экв/л позволяет выразить содержание элементов и соединений в эквивалентной форме, т.е. в химически равноценных единицах, пропорционально которым они вступают в реакцию.

$$\frac{\text{мг-экв}}{\text{л}} = \frac{\text{концентрация иона (мг/л)} \times \text{валентность иона}}{\text{ионный вес}}$$

Например, содержание гидрокарбонат-иона ( $\text{HCO}_3^-$ ) в воде составляет 122 мг/л, тогда в эквивалентной форме оно равно  $((122 \times 1) / (1 + 12 + 16 \times 3)) = 2$  (мг-экв)/л. Если содержание сульфат-иона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) в воде равно 144 мг, то в эквивалентной форме это составит  $((144 \times 2) / (32 + 16 \times 4)) = 3$  (мг-экв)/л.

Для удобства пересчета можно воспользоваться соотношением:  
*мг-экв/л = концентрация иона (мг/л) × переводной коэффициент.*

Переводные коэффициенты для основных ионов:

$\text{Ca}^{2+}$  - 0,0499,  $\text{Na}^+$  - 0,04348,  $\text{HCO}_3^-$  - 0,01638,  $\text{CO}_3^{2-}$  - 0,03328,  
 $\text{Mg}^{2+}$  - 0,08224,  $\text{K}^+$  - 0,02557,  $\text{SO}_4^{2-}$  - 0,02082,  $\text{Cl}^-$  - 0,0282.

В эквивалентной форме сумма катионов должна быть равна сумме анионов. Солевой состав вод (а также почв) графически наглядно выражается в виде специальных геохимических моделей – *солевых профилей*. Он строится в миллиграмм-эквивалентах на литр по двум осям. По одной из выбранных осей (ординат) откладывают точки опробования – сопряженные геосистемы, глубины почвенного разреза, ярусы ландшафтов и т.д. По оси абсцисс от нулевой точки вправо в выбранном масштабе откладывают в определенном порядке значения анионов:  $\text{CO}_3^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ; влево – катионов:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ . При этом число



миллиграмм-эквивалентов каждого последующего иона прибавляется (или наращивается) к предыдущему, поэтому области ионов на диаграмме не пересекаются.

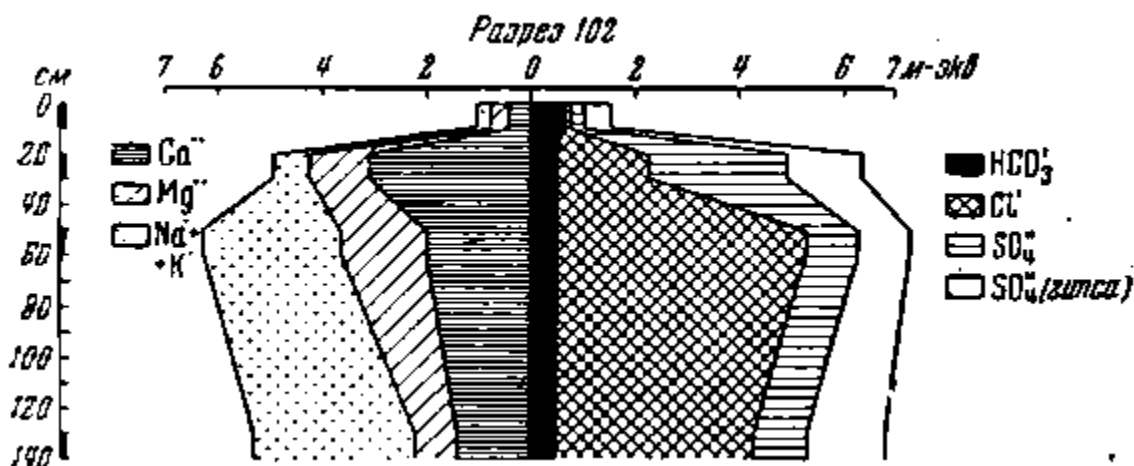


Рис.1 - Пример солевого профиля почвы

Еще одной формой выражения состава природных вод являются проценты эквивалентов (%-экв). В этой форме можно количественно показать соотношение между ионами. Это важно при сопоставлении вод разной минерализации. Для пересчета состава вод из мг-экв/дм<sup>3</sup> в %-экв сумма анионов и катионов в мг-экв принимается за 100%. Расчет выполняется по формуле:  $\% \text{-экв} = b \times 100 / (\sum_{\text{анионов}} + \sum_{\text{катионов}})$ , где  $b$  – содержание иона в мг-экв/дм<sup>3</sup>;  $\sum_{\text{анионов}} + \sum_{\text{катионов}}$  – сумма анионов и катионов в мг-экв/дм<sup>3</sup>. Если расчет выполняется отдельно для катионов и анионов, то формула имеет вид:  $\% \text{-экв} = a \times 100 / \sum_{\text{анионов}}$  (или  $\sum_{\text{катионов}}$ ).

Одной из форм краткого и наглядного представления солевого состава вод является геохимическая модель - *формула Курлова*. Она представляет собой дробь, в числителе которой записаны анионы в порядке убывания их %-экв, в знаменателе – катионы (заряды ионов не ставятся). В нее включаются лишь ионы, содержание которых  $\geq 5$  %-экв (или  $\geq 10$  %-экв при расчете отдельно для анионов и катионов). Перед дробью ставится минерализация вод в г/дм<sup>3</sup>. Такие формулы удобно выносить на карты и профили. По формуле Курлова дается название химического состава воды: вначале перечисляются анионы (от меньшего к большему), затем – катионы.

Пример формулы Курлова:  $0,03 \frac{\text{HCO}_3(24), \text{SO}_4(12), \text{Cl}(7)}{\text{Ca}(28), \text{Mg}(18), \text{Na}(6)}$

Название воды: Хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная натриево-магниевая-кальциевая<sup>1</sup>.

### ЗАДАНИЕ 2. Проанализировать ионный состав вод.

1. Пересчитать содержание ионов в водах в мг-экв/л и в %-экв (исходные данные – в индивидуальном задании).
2. Построить солевой профиль.
3. Составить формулы Курлова для природных вод анализируемых объектов. Дать полное название химического состава вод.
4. Проанализировать геохимические модели и сделать выводы по важнейшим геохимическим особенностям вод. Выполнить сравнительный анализ солевого состава вод сопряженных геосистем.

#### *Пример выполнения.*

1. Пересчет выполняется с использованием переводных коэффициентов: мг-экв/л=концентрация иона (мг/дм<sup>3</sup>) × переводной коэффициент (см. с.8).

Для атмосферных осадков:

содержание Ca <sup>2+</sup> в мг-экв/дм <sup>3</sup> :	3,77 × 0,0499 = 0,18;
содержание Na <sup>+</sup> в мг-экв/дм <sup>3</sup> :	1,17 × 0,04348 = 0,05;
содержание Mg <sup>2+</sup> в мг-экв/дм <sup>3</sup> :	3,03 × 0,08224 = 0,24;
содержание K <sup>+</sup> в мг-экв/дм <sup>3</sup> :	4,41 × 0,02557 = 0,11;
содержание HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> в мг-экв/дм <sup>3</sup> :	18,44 × 0,01638 = 0,37;
содержание SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> в мг-экв/дм <sup>3</sup> :	8,22 × 0,02082 = 0,16;
содержание Cl <sup>-</sup> в мг-экв/дм <sup>3</sup> :	2,86 × 0,0282 = 0,08.

содержание Ca <sup>2+</sup> в %-экв:	0,18 × 100/0,58 = 31,0;
содержание Na <sup>+</sup> в %-экв:	0,05 × 100/0,58 = 8,6;
содержание Mg <sup>2+</sup> в %-экв:	0,24 × 100/0,58 = 41,4;
содержание K <sup>+</sup> в %-экв:	0,11 × 100/0,58 = 19,0;
содержание HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> в %-экв:	0,37 × 100/0,61 = 60,7;
содержание SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> в %-экв:	0,16 × 100/0,61 = 26,2;
содержание Cl <sup>-</sup> в %-экв:	0,08 × 100/0,61 = 13,1.

Результаты расчетов заносим в таблицу 3.

---

<sup>1</sup> Название химического состава воды можно прочесть на бутылках с минеральной водой. Но там в названии указываются лишь 2-3 доминирующих иона.

Таблица 3

## Название таблицы (дается студентом)

Воды	Един. измер.	Минерализация	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Сумма катионов	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Сумма анионов
Атмосферные осадки	$\frac{\text{мг-экв}}{\text{дм}^3}$	81,6 мг/дм <sup>3</sup>	0,18	0,24	0,05	0,11	0,58	0,37	0,08	0,16	0,61
	%-экв		31,0	41,4	8,6	19,0	100 %	60,7	13,1	26,2	100 %
Воды автономной системы	$\frac{\text{мг-экв}}{\text{дм}^3}$	581,7 мг/дм <sup>3</sup>	3,27	2,14	0,30	1,65	7,36	0,54	0,26	0,78	1,58
	%-экв		44,4	29,1	4,1	22,4	100 %	34,2	16,5	49,4	100 %
Воды подчиненной системы	$\frac{\text{мг-экв}}{\text{дм}^3}$	431,6 мг/дм <sup>3</sup>	2,31	0,72	0,90	0,35	4,26	0,49	0,64	0,09	1,22
	%-экв		54,2	16,9	21,1	8,2	100 %	40,2	52,5	7,4	100 %

2. Построение солевого профиля следует начать с выбора горизонтального масштаба. Масштаб должен быть таким, чтобы можно было показать и 0,08 и 3,27 мг-экв/дм<sup>3</sup>. Подписи областей ионов можно выполнить как показано на рис.1, но можно подписывать прямо на солевом профиле. Выполнить сравнительный анализ солевого состава вод сопряженных геосистем.

3. Составление формул Курлова для природных вод анализируемых объектов.

Атмосферные осадки:  $0,08$   $\frac{\text{мг-экв}}{\text{дм}^3}$  HCO<sub>3</sub> (61), SO<sub>4</sub> (26), Cl (13)  
Mg (41), Ca (31), K (19)

Название: вода хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатная калиево-кальциево-магниевая

Автономная система:  $0,582$   $\frac{\text{мг-экв}}{\text{дм}^3}$  SO<sub>4</sub> (49), HCO<sub>3</sub> (34), Cl (17)  
Ca (44), Mg (29), K (22)

Название: вода хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатная калиево-магниево-кальциевая

Подчиненная система:  $0,432$   $\frac{\text{мг-экв}}{\text{дм}^3}$  Cl (53), HCO<sub>3</sub> (40)  
Ca (54), Na (21), Mg (17)

Название: вода гидрокарбонатно- хлоридная магниевое-натриево-кальциевая.

#### 4. Анализ геохимических моделей.

- Ряды водной миграции: установить элементы (группы элементов), мигрирующие в ландшафтах с разной интенсивностью. Показать отличие (или сходство) миграционной активности элементов в различных системах.

- По величине коэффициента контрастности ( $c_{\text{эле.х}}$ ) определить степень влияния окислительно-восстановительных и других условий на миграционную активность элемента.

- Солевой профиль и формулы Курлова: проанализировать минерализацию и солевой состав вод различных систем. Выполнить сравнительную характеристику пространственной динамики анионного и катионного составов вод.

Рекомендации. Работу лучше выполнять на листе миллиметровой бумаги формата А3. Выводы можно оформить на отдельном листе бумаги.

Выводы следует писать конкретно и лаконично, обращая внимание на причинно-следственные связи, по каждой модели отдельно. Каждый вывод следует начинать с нового абзаца. Над формулировкой выводов нужно работать особенно тщательно, стараясь как можно корректнее формулировать свою мысль. Сокращения в выводах недопустимы.

### 1.3. Индивидуальные задания по теме «Водная миграция»

1	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм3				Анионы мг/дм3		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	123,18	32,04	12,67	0,45	3,00	29,46	2,84	41,79
Воды подчиненной геосистемы	331,56	80,72	7,90	18,35	3,00	180,00	18,43	22,57

2	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм3				Анионы мг/дм3		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	117,24	39,44	26,20	3,50	2,40	24,88	2,48	11,44
Воды подчиненной геосистемы	227,8	63,05	18,63	9,05	0,7	112,28	10,64	7,20

3	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм3				Анионы мг/дм3		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	33,46	8,00	1,7	0,50	0,40	10,02	3,19	9,61
Воды подчиненной геосистемы	60,91	18,01	2,92	1,90	2,92	18,31	5,67	8,17

4	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм3				Анионы мг/дм3		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	64,37	22,35	2,67	1,20	3,55	18,42	3,55	10,57
Воды подчиненной геосистемы	242,48	48,47	8,87	6,20	17,00	109,84	18,79	32,66

5	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм3				Анионы мг/дм3		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	242,48	48,47	8,87	6,20	17,00	109,84	18,79	32,66
Воды подчиненной геосистемы	581,74	89,53	27,58	6,90	60,0	381,38	8,51	6,72

6	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм3				Анионы мг/дм3		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	169,04	48,15	5,71	5,35	2,20	82,99	10,28	12,49
Воды подчиненной геосистемы	581,74	89,53	27,58	6,90	60,0	381,38	8,51	6,72

7	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	65,37	30,15	2,67	1,20	3,55	13,42	3,55	10,57
Воды подчиненной геосистемы	89,67	16,52	1,81	4,20	12,50	15,26	8,15	24,98

8	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	89,67	16,52	1,81	4,20	12,50	15,26	8,15	24,98
Воды подчиненной геосистемы	242,48	48,47	8,87	6,20	17,00	109,84	18,79	32,66

9	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	131,23	47,80	3,89	2,45	0,45	53,09	2,84	19,69
Воды подчиненной геосистемы	141,71	38,85	12,31	1,98	0,55	72,00	3,55	11,57

10	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	89,67	16,52	1,81	4,20	12,50	15,26	8,15	24,98
Воды подчиненной геосистемы	117,24	39,44	26,20	3,50	2,40	24,88	2,48	11,44

11	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	227,8	63,05	18,63	9,05	0,7	112,28	10,64	7,20
Воды подчиненной геосистемы	242,48	48,47	8,87	6,20	17,00	109,84	18,79	32,66

12	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	117,24	39,44	26,20	3,50	2,40	24,88	2,48	11,44
Воды подчиненной геосистемы	242,48	48,47	8,87	6,20	17,00	109,84	18,79	32,66



13	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	117,24	39,44	26,20	3,50	2,40	24,88	2,48	11,44
Воды подчиненной геосистемы	131,23	47,80	3,89	2,45	0,45	53,09	2,84	19,69

14	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	123,18	32,04	12,67	0,45	3,00	29,46	2,84	41,79
Воды подчиненной геосистемы	242,48	48,47	8,87	6,20	17,00	109,84	18,79	32,66

15	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	242,48	48,47	8,87	6,20	17,00	109,84	18,79	32,66
Воды подчиненной геосистемы	331,56	80,72	7,90	18,35	3,00	180,00	18,43	22,57

16	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	123,18	32,04	12,67	0,45	3,00	29,46	2,84	41,79
Воды подчиненной геосистемы	581,74	89,53	27,58	6,90	60,0	381,38	8,51	6,72

17	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	331,56	80,72	7,90	18,35	3,00	180,00	18,43	22,57
Воды подчиненной геосистемы	581,74	89,53	27,58	6,90	60,0	381,38	8,51	6,72

18	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	227,8	63,05	18,63	9,05	0,7	112,28	10,64	7,20
Воды подчиненной геосистемы	331,56	80,72	7,90	18,35	3,00	180,00	18,43	22,57

19	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	169,04	48,15	5,71	5,35	2,20	82,99	10,28	12,49
Воды подчиненной геосистемы	227,8	63,05	18,63	9,05	0,7	112,28	10,64	7,20

20	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	123,18	32,04	12,67	0,45	3,00	29,46	2,84	41,79
Воды подчиненной геосистемы	331,56	80,72	7,90	18,35	3,00	180,00	18,43	22,57

21	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	227,8	63,05	18,63	9,05	0,7	112,28	10,64	7,20
Воды подчиненной геосистемы	581,74	89,53	27,58	6,90	60,0	381,38	8,51	6,72

22	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	89,67	16,52	1,81	4,20	12,50	15,26	8,15	24,98
Воды подчиненной геосистемы	123,18	32,04	12,67	0,45	3,00	29,46	2,84	41,79

23	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	117,24	39,44	26,20	3,50	2,40	24,88	2,48	11,44
Воды подчиненной геосистемы	227,8	63,05	18,63	9,05	0,7	112,28	10,64	7,20

24	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	Катионы, мг/дм <sup>3</sup>				Анионы мг/дм <sup>3</sup>		
		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>
Атмосферные осадки	31,26	3,77	1,03	1,00	1,41	8,44	2,86	8,22
Воды автономной геосистемы	131,23	47,80	3,89	2,45	0,45	53,09	2,84	19,69
Воды подчиненной геосистемы	331,56	80,72	7,90	18,35	3,00	180,00	18,43	22,57

## ЛИТЕРАТУРА

1. Польшов Б. Б. Избранные труды / Б.Б. Польшов. – М.: Наука, 1956. – 751 с.
2. Перельман А. И. Геохимия / А. И. Перельман. -- М.: Наука, 1989.
3. Страх Л.И. Геохимические барьеры краевой зоны болота Белорусского Полесья и концентрация на них Cs-137: автореф. дис. ...канд. геогр. наук. М., 1999. – 24 с.
4. Авессаломова И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов / Авессаломова И.А. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 108 с.
5. Смыкович Л.И. Основы геохимии: механическая и биогенная миграция: практикум для студентов. – Минск: БГУ, 2012. – 24 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Тема. Водная миграция.....	3
1.1. Коэффициенты и ряды водной миграции элементов.....	3
Задание 1. Рассчитать коэффициенты водной миграции элементов.....	5
1.2. Ионный состав вод.....	8
Задание 2. Проанализировать ионный состав вод.....	10
1.3. Индивидуальные задания по теме «Водная миграция».....	13
Литература.....	21

Учебное издание

**Смыкович Людмила Ивановна**

**ГЕОХИМИЯ:  
ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ  
Практикум  
для студентов специальностей  
1-31 02 01 «География»,  
1-31 02 02 «Гидрометеорология»,  
1-31 02 03 «Космоаэрокартография»,  
1-33 01 02 «Геоэкология»**

В авторской редакции

Ответственный за выпуск *Л. И. Смыкович*

Подписано в печать 27.02.2015. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л.0,81. Тираж 50 экз. Заказ

Белорусский государственный университет.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/270 от 03.04.2014.  
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика  
на копировально-множительной технике  
географического факультета  
Белорусского государственного университета  
Ул. Ленинградская, 14, 220030, Минск