

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ**

Кафедра почвоведения

Е.В. СМИРНОВА, А.А. ВАЛЕЕВА

МОНИТОРИНГ ПОЧВ

Методическое пособие для практических занятий

Казань – 2015

УДК 631.4

*Принято на заседании
Учебно-методической комиссии
Института экологии и природопользования
К(П)ФУ*

Протокол №7 от 21 октября 2015 г.

*Заседания кафедры почвоведения
Протокол 2 от 23 сентября 2015 г.*

Рецензенты:

доктор биологических наук,
профессор кафедры почвоведения КФУ **Г.Ф. Копосов**
кандидат биологических наук,
зам. директора по науке ИПЭиН АН РТ **Д.В. Иванов**

Смирнова Е.В.

Мониторинг почв / Сост. Е.В. Смирнова, А.А. Валеева. – Казань: Казан.ун-т, 2015. – 50с.

Методическое пособие для практических занятий по курсу «Мониторинг почв» рассматривает приемы и методы обработки аналитической информации, полученной в ходе мониторинговых исследований почвенного покрова. Освещены методы расчета и способы использования количественных показателей для оценки распределения химических элементов в почвенно-растительных и почвенно-геологических комплексах. Даны примеры геохимического картирования и графического представления аналитических данных почвенного мониторинга.

Предназначено для студентов почвоведов, агрохимиков, экологов, геоэкологов и специалистов по охране окружающей среды и рациональному природопользованию.

© Смирнова Е.В., Валеева А.А., 2014

© Казанский университет, 2014

Содержание

Введение	4
Распространение химических элементов	6
Виды миграции химических элементов	7
Практическая работа 1. Химический состав осадочных и почвообразующих пород	9
Практическая работа 2. Составление выборок геохимических данных по литологическим типам пород	13
Биогеохимические циклы элементов	16
Практическая работа 3. Биологическое поглощение химических элементов	17
Почвенно-геохимические системы	20
Геохимические барьеры	20
Радиальная геохимическая структура	26
Практическая работа 4. Радиальные геохимические барьеры	27
Литература	30
Приложение к практической работе 1	31
Приложение к практической работе 3	38
Приложение к практической работе 4	45

Введение

Основной целью практических занятий по курсу «Мониторинг почв» является углубленная проработка отдельных разделов курса, знакомство и освоение понятийного аппарата данной дисциплины, овладение практическими приемами обработки аналитических данных, полученных в ходе мониторинговых исследований почв и их графического и картографического изображения.

В методическом пособии рассматривается распространенность химических элементов в почвах, горных породах, приводится понятие о Кларках химических элементов и необходимый справочный материал для решения практических задач, графические способы изображения данных мониторинга. Излагается концепция миграции веществ как основа сопряженного геохимического метода исследования ландшафтов. Кратко изложены некоторые теоретические вопросы биогенной миграции элементов, даются основные показатели и коэффициенты, практические задачи по их расчету и интерпретации. Рассматриваются вопросы, посвященные геохимической структуре почвенного покрова, входящего в состав ландшафтной оболочки Земли. Представлены простейшие приемы геохимического анализа и коэффициенты, используемые при характеристике радиальной и латеральной структуры почвенного профиля и почвенного покрова. Рассматривается техногенная миграция элементов в природных и антропогенных ландшафтах, приводится расчет геохимических показателей загрязнения почвенной среды, а также общая схема ландшафтно-геохимического анализа применительно к решению задач почвенного мониторинга.

Работа студентов на практических занятиях состоит из следующих операций:

- определение статистических параметров распределения химических элементов в изучаемой геохимической системе;
- расчета соответствующих аналитических показателей и коэффициентов;
- построение графиков и диаграмм;

-отображение информации при помощи картографических материалов.

К качеству исходных данных литературные источники и аналитические данные сотрудников кафедры почвоведения К(П)ФУ, полученные ими в результате почвенных исследований Республики Татарстан, кондиционные для учебного процесса.

Основным принципом проведения занятий является индивидуальный характер их выполнения. Каждый студент получает задание в виде набора аналитических данных, производит соответствующие вычисления, законченные работы сдаются на проверку. Каждая практическая работа завершается самостоятельным анализом полученных результатов, в виде заключения. Данная часть работы является одной из основных в системе познания геохимических закономерностей трансформации, перемещения и накопления химических элементов в почвах различных ландшафтов.

Распространение химических элементов

Важным для понимания химических процессов происходящих в почвах, является анализ распространения химических элементов в различных сферах и оболочках Земли и их компонентах.

В честь Ф.У Кларка, посвятившего всю свою жизнь исследованию состава земной коры, академик А.Е. Ферсман предложил среднее содержание химического элемента в земной коре или какой-либо части называть термином *Кларк*. Для понимания закономерностей распространенности химических элементов значение имеют основные геохимические законы.

Закон Гольдшмидта – абсолютное количество элементов, т.е. Кларки, зависят главным образом от строения атомного ядра; распространения элементов, связанное с их миграцией, определяется строением наружных электронных оболочек и в меньшей степени ядерными свойствами.

Закон Кларка-Вернадского – указывает на всеобщность рассеяния химических элементов в природе. Его важное следствие - обнаружение любого из 88 известных в природе химических элементов практически во всех элементах Земли, т.е. наличие или отсутствие элемента в изучаемом объекте или системе зависит не от их собственных свойств, а от чувствительности используемых аналитических методов.

Различают глобальные, региональные и локальные (местные) Кларки элементов.

Элементы с низкими Кларками (менее 0,01 – 0,001%) называются **редкими**. Некоторые из них концентрируются в земной коре. Например, на участках медных, цинковых и свинцовых месторождений Zn, Cu, Pb могут быть главными элементами ландшафта.

Элементы, которые обладают и низкими Кларками и малой способностью к концентрации, рассеяны в земной коре и во всех породах, почвах, минералах и встречаются там в ничтожных количествах, называются **редкими рассеянными**. Их роль в ландшафте всегда второстепенна (радий, скандий, кадмий, индий, галий и др.)

Распространенные химические элементы, определяющие характерные особенности данного ландшафта, называются **типоморфными**. К ним относятся Ca, H (вернее водородный ион), Fe, S, Cl и другие. Это позволяет говорить о кальциевых, кислых и прочих ландшафтах (например, кальциевая и кислая тайга).

Существуют внутренние и внешние факторы миграции. Внутренние – химические свойства элемента, его способность давать соединения различной растворимости, летучести, твердости, способность поглощаться организмами. Внешние – это та обстановка, в которой мигрируют атомы, температура, давление, щелочно-кислотные (pH) и окислительно-восстановительные условия вод.

Виды миграции химических элементов

1. Механическая миграция, подчиняется законам механики (это – образование россыпей, ветровая и водная эрозия). Зависит от величины частиц минералов и пород, их плотности, скорости движения вод, ветра. Химические свойства элементов не имеют значения, и такие различные элементы, как калий, кремний и алюминий, входя в состав переносимой ветром песчинки ортоклаза ($K_2Al_2Si_6O_{16}$), мигрируют с одинаковой скоростью.

2. Физико-химическая миграция, определяется законами физики и химии – диффузией, растворением, осаждением, сорбцией, десорбцией и т.д. Лучшее всего изучена миграция веществ в водных растворах в виде ионов (*ионная миграция*), зависит от растворимости солей, pH, окислительно-восстановительного потенциала.

К этому же виду относятся – *коллоидная миграция* и *миграция газов*. Наиболее сложная *биогенная миграция*, связана с деятельностью живых организмов.

Самая сложная – *техногенная миграция*, связана с хозяйственной деятельностью человека.

В зависимости от вида миграции выделяются три основных *ряда* элементарных и геохимических ландшафтов:

1. *Абиогенные ландшафты* – характерны только механическая и физико-химическая миграции.

2. *Биогенные ландшафты* с ведущим значением биогенной миграции и подчиненной ролью физико-химических и механических процессов.

3. *Культурные ландшафты*, их своеобразие определяется техногенной миграцией, хотя в них имеются и все остальные виды миграции.

Концентрация и рассеяние химических элементов. Миграция приводит к значительному перераспределению элементов, их содержание в почвах, коре выветривания, водах, организмах отличается от Кларка. Количественно это отличие выражается *Кларком концентрации (КК)* – это есть отношение содержания данного элемента в природном объекте C_i к Кларку литосферы K ,

$$KK=C_i/K$$

Эта величина всегда больше 0. Если $KK=1$, то содержание элемента в объекте равно его содержанию в литосфере. Если KK меньше 1, то вычисляются обратные величины – *Кларки рассеяния (КР)* – это есть отношение Кларка элемента в литосфере к его содержанию в данном природном объекте C_i ,

$$KP=K/C_i$$

Таким образом, Кларки концентрации и Кларки рассеяния – это показатели, характеризующие относительную распространенность химических элементов в природных объектах.

Среднее содержание химических элементов в осадочных и почвообразующих породах иногда именуют Кларками этих пород. Одни типы пород близки по химическому составу к литосфере, другие отличаются от нее и между собой.

Графически элементный химический состав почвообразующих пород и почв можно сопоставить при помощи геохимических спектров элементов, которые представляют ряды Кларков концентрации и Кларков рассеяния в разных объектах. Один из спектров ранжируется по значениям KK и KP , другие представляют собой ломанные линии. Таким образом, на одном рисунке можно

одновременно сравнивать до 5 объектов по определенному числу химических элементов.

Наиболее контрастно распределение в природных объектах микроэлементов. Особенно большие различия характерны для редких и рассеянных элементов, и для элементов биофилов, их содержание в различных горных породах могут различаться в десятки и сотни раз.

Среди осадочных пород преобладают глины и сланцы (около 80 % от общей массы), их Кларки дают представление о составе осадочной оболочки Земли, который по своему химизму ближе всего к составу гранитного слоя. Карбонатные породы бывают обеднены большинством химических элементов, исключение составляют только кальций, магний, углерод, стронций. В органогенных породах концентрация элементов, таких как бор, германий, молибден может составлять десятки и сотни Кларков концентрации.

Практическая работа 1. Химический состав осадочных и почвообразующих пород.

Практическое занятие по этой теме предусматривает:

- 1) определение атомных и весовых количеств элементов, перевод атомных количеств в весовые %;
- 2) расчет Кларков концентрации (**КК**) и Кларков рассеяния (**КР**) для почвообразующих пород;
- 3) ранжирование величин **КК** и **КР** для эталонного объекта исследования;
- 4) построение геохимических спектров представленных пород;
- 5) анализ особенностей химического состава пород.

Исходные материалы. Представлены аналитические данные покомпонентных химических анализов осадочных и почвообразующих пород различных регионов Земного шара (таблица 1.2). Представлены данные по Кларкам элементов в литосфере (таблица 1.1).

Задание 1. Перевод атомных количеств элементов в вес. %.

Пересчитать весовые проценты окислов (таблица 1.2) на весовые проценты элементов, с составлением таблицы 1.3, используя следующий порядок расчетов:

1) взять данные по атомному весу элементов O (16), Si (28), Al (27), Fe (56), Ti (48), Mn (55), Mg (24), Ca (40), Na (23), K (39), P (31), C (12), S (32);

2) рассчитать молекулярный вес каждого окисла;

3) по соотношениям молекулярного веса окисла и его атомного веса, молекулярного веса окисла и его содержания в вес. % рассчитать концентрацию элемента в вес. % исходя из пропорции:

содержание элемента в вес. % – атомный вес элемента;

содержание окисла в вес. % – молекулярный вес окисла

Отношение атомного веса элемента к его молекулярному весу принимается за расчетный коэффициент K' (константа), для его использования при определении процентного содержания элемента по содержанию окисла в вес. %.

Расчетный коэффициент K' для каждого элемента определяется по формуле:

$$K' = \text{ат. вес элемента} / \text{мол. вес. окисла}$$

4) результаты расчетов внести в таблицу 1.3.

Задание 2. Подсчет Кларков концентрации (КК) и рассеяния (КР) с использованием табличных данных (таблица 1.1) и сведений о Кларках элементов (таблица 1.2) по формулам:

$$KK = C_i / K; \quad KP = K / C_i,$$

где C_i – содержание в породах, K – Кларк литосферы.

Задание 3. Ранжирование значений КК для эталонного объекта. При построении геохимических спектров один из изучаемых объектов принимается за эталонный, с которым будет сравниваться химический состав других пород. Величины КК и КР для эталонного объекта располагаются в порядке их убывания (для КК) и возрастания (для КР).

Задание 4. Построение графиков геохимического спектра. Оно начинается с отображения на нем величин КК и КР эталонного объекта. По оси ординат (ось у) располагаются значения КК в арифметическом масштабе. По оси абсцисс (ось х) через равные интервалы проставляются символы анализируемых химических элементов в порядке ранжирования эталонного объекта. 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. Линии спектров других пород имеют ломаный вид, что позволяет выявить особенности их химического состава относительно друг друга и эталонного объекта.

Задание 5. Заключение содержит анализ и характеристику особенностей химического состава различных почвообразующих пород и ответы на вопросы:

- а) каковы особенности геохимического спектра почвообразующих пород?
- б) в чем сходство и различия в химическом составе представленных пород?

Анализ геохимической специализации пород нужно начинать с выявления общих закономерностей – близости геохимического спектра к среднему составу литосферы, преобладания в данной породе концентрации или рассеивания элементов, установления степени контрастности распределения коэффициентов.

Анализ геохимических различий в составе пород необходимо вести, выделяя определенные группы накопления – рассеивания, т.е. проводить эмпирическое ранжирования величин КК и КР в каждом конкретном случае. По характеру концентрации элементы выделяют в три группы:

- 1) с высокой концентрацией и рассеянием элементов ($КК > 10$ и $КР > 10$);
- 2) со средней концентрацией ($КК = 1,6 - 10$ и $КР = 1,6 - 10$);
- 3) со слабой концентрацией и рассеянием, в целом близкой к кларку литосферы ($КК = 1,0 - 1,5$ и $КР = 1,1 - 1,5$)

В тех случаях, когда породы имеют четкую металлогеническую специализацию, она должна быть подчеркнута при индивидуальном разборе особенностей графических построений.

Таблица 1.1

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	86,10	59,20	7,41	81,37	36,65
TiO ₂	0,74	1,20	0,14	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	5,45	16,14	1,55	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	1,20	4,36	0,70	4,21	0,70
FeO	1,41	3,24	1,20	0,16	1,07
MnO	0,06	0,09	0,15	0,03	0,04
MgO	0,61	3,14	2,70	0,84	0,50
CaO	0,98	2,52	45,44	1,10	29,43
Na ₂ O	0,55	3,82	0,15	0,07	1,01
K ₂ O	0,96	1,97	0,25	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,16	0,20	17,14
CO ₂	0,58	0,41	39,27	0,59	5,19
SO ₃	0,02	-	0,02	0,15	1,48

Таблица 1.2

Среднее содержание элементов в земной коре в %, по А.П. Виноградову

Элементы	Кларки литосферы	
	%	n 10 ⁻³ %
Si	29,0	29000
Ti	0,45	450
Al	8,05	8050
Fe	4,65	4650
Mn	0,10	100
Mg	1,87	1870
Ca	3,96	3960
Na	2,50	2500
K	2,50	2500
P	0,093	93
C	0,023	23
S	0,047	47

Таблица 1.3

Содержание элементов в осадочных и почвообразующих породах

породы	Элементы. Содержащиеся в вес. %, расчетный коэффициент													
	Si		Ti		Al		Mn		Mg		Ca		Na	
	K'	вес.%	K'	вес.%	K'	вес.%	K'	вес.%	K'	вес.%	K'	вес.%	K'	вес.%

Практическая работа 2. Составление выборок геохимических данных по литологическим типам пород

Практическое занятие по этой теме предусматривает:

- 1) группировку проб по типам пород;
- 2) составление выборок геохимических данных по литологическим типам пород;
- 3) расчет среднего содержания элементов по всем типам пород, с заполнением таблицы 2.2;
- 4) построение графических изображений распределения химических элементов по породам разных литологических типов.

По данным определения средних содержаний составить график распределения элементов по литологическим типам пород. При составлении графика по оси абсцисс показывается в виде одинаковых отрезков литологический тип пород. По оси ординат откладывается среднее значение концентраций каждого компонента в весовых процентах, заданное в таблице 2.1. Предварительно для элемента, или группы элементов, величины содержания которых сопоставимы, на оси ординат выбирается соответствующая цена деления. Например, содержания Si, Al, Mg, Fe, Ca, Ti сопоставимы – это проценты и первые три десятка процентов. Концентрации же другой группы элементов – Mn, V, Cu, Ni, Cr, Zn – отличаются на 2-3 порядка. Поэтому и цена деления, принятая для отображения их процентных содержаний по оси ординат, будет разная. В первом случае, в 1 см – 2%, во втором – 0,005%. Можно это распределение путем выбора соответствующей шкалы для отображения содержаний компонента показать не для 2-х, а для 4-х групп компонентов, отделив Ti, Ca, Fe, Mg от Si, Al и Cu, Ni, Cr, Zn от Mn, V.

Исходные материалы. Представлена таблица 1 с данными по содержаниям химических элементов в породах разных литологических типов.

Таблица 2.1

Содержаниям химических элементов в породах разных литологических типов

№ пр	Характеристика пробы	Элементы и их содержания, вес. %											
		Si	Al	Mg	Ca	Fe	Mn	Ni	Ti	V	Cr	Zr	Cu
1	Алевролит серый	15	10	3	5	1	0,02	0,003	0,1	0,04	0,006	0,004	0,003
4	Песчаник глинистый серый	28	25	7	8	5	0,06	0,002	0,3	0,07	0,004	0,003	0,009
7	Песчаник белесо-серый	27	24	6	7	4	0,05	0,001	0,2	0,06	0,003	0,002	0,008
2	Песок зеленовато-серый	25	15	1	2	25	0,01	0,001	0,2	0,05	0,002	0,006	0,005
5	Алевролит светло-серый	17	12	2	4	2	0,03	0,002	0,2	0,05	0,008	0,004	0,002
15	Алевролит розовато-коричневый	13	8	1	3	1	0,02	0,003	0,02	0,003	0,004	0,004	0,003
6	Песчаник зеленовато-серый	30	16	6	4	5	0,07	0,04	0,5	0,08	0,003	0,005	0,006
14	Песок разномзернистый, белесо-серый	26	13	2	3	3	0,02	0,003	0,4	0,005	0,003	0,005	0,006
11	Гравелит розовато-коричневый	22	17	4	2	3	0,07	0,005	0,3	0,07	0,004	0,002	0,007
10	Песок белесо-серый	25	15	3	2	4	0,03	0,003	0,4	0,007	0,002	0,005	0,007
9	Алевролит зеленовато-серый	16	11	1	3	1	0,002	0,001	0,1	0,04	0,007	0,003	0,002
17	Песчаник серый	24	14	2	1	3	0,02	0,002	0,3	0,06	0,001	0,005	0,006
3	Гравелит разномзернистый бурый	23	18	5	3	4	0,08	0,016	0,4	0,08	0,004	0,001	0,008
16	Гравелит бурый	23	17	6	4	3	0,09	0,007	0,5	0,09	0,005	0,005	0,007
12	Алевролит малиново-красный	14	19	2	4	1	0,01	0,002	0,19	0,03	0,005	0,005	0,002
13	Песчаник светло-серый	31	17	7	5	6	0,08	0,006	0,6	0,08	0,004	0,006	0,02
8	Гравелит коричнево-серый	21	17	4	2	3	0,09	0,007	0,5	0,07	0,005	0,002	0,009

Таблица 2.2

Составление выборок геохимических данных по литологическим типам пород

№ пр	Характеристика пробы	Элементы и их содержания											
		Si	Al	Mg	Ca	Fe	Mn	Ni	Ti	V	Cr	Zr	Cu
Алевриты													
	Среднее значение												
Песчаники													
	Среднее значение												
Пески													
	Среднее значение												
Гравелиты													
	Среднее значение												

Биогеохимические циклы элементов

Анализ химического состава живого вещества заключается в его сопоставлении с составом горных пород, почв, вод, атмосферного воздуха. Это создает возможности для системного анализа биологического круговорота химических элементов в почвах и ландшафтах.

Кларки живого вещества представляют собой глобальные геохимические параметры, которые условно характеризуют средний химический состав живых организмов. Между составами живого вещества и земной коры в целом нет прямой пропорциональной зависимости. В практике используют три основных способа выражения химического состава биологических объектов: в расчете на сырую массу организма, на массу сухого органического вещества, на золу (на количество минеральных веществ, содержащихся в организме). Данные по Кларкам живого вещества постоянно уточняются в результате применения более совершенных аналитических методов. Особенно существенно могут уточняться Кларки живого вещества токсичных элементов. В последнее время данные по ним получают в результате осуществления программы глобального мониторинга природной среды.

Содержание элементов в золе отличается от среднего содержания в земной коре, так как растения избирательно поглощают элементы из почв.

Методом оценки интенсивности биологического поглощения элементов живыми организмами, в основном растениями, является сопоставление их содержания в золе растений с содержанием в питающей среде - почвах.

Этот показатель называется *коэффициентом биологического поглощения* (A_x)

$$A_x = l_x / n_x$$

где l_x – содержание элемента x в золе растений, n_x – содержание элемента x в почвах.

Величина A_x не является константой, она меняется в зависимости от времени (от фазы вегетации), возраста организма, почвы. A_x микроэлементов

для данного вида растения может колебаться в 100-1000 раз. При $A_x > 1$ элементы накапливаются в растениях, а при $A_x < 1$ – только захватываются.

Наиболее интенсивно элементы поглощаются из газовой фазы, слабее - из раствора и еще слабее – из твердой фазы. Но все же главным источником элементов для растений является твердая фаза почвы.

Ранжированные значения A_x образуют ряды биологического поглощения, отражающие особенности биологических циклов элементов в конкретных ландшафтах.

Химический состав растений, а значит, и коэффициенты биологического поглощения зависят от двух главных факторов:

1) ландшафтно-геохимического (экологического), определяющего геохимическую обстановку произрастания растений, уровни содержания элементов в питающей среде, формы нахождения, в том числе подвижные, доступные для растений;

2) генетического, определяющего биогеохимическую специализацию отдельных семейств, родов, видов растений в связи с их систематическим положением и особенностями происхождения.

Практическая работа 3. Биогеохимические циклы элементов

Практическое занятие по этой теме предусматривает:

- 1) расчет коэффициентов биологического поглощения для двух видов растений;
- 2) ранжирование рядов биологического поглощения для каждого растения;
- 3) выделение групп биологического поглощения и биологического захвата;
- 4) сопоставление полученных рядов биохимического поглощения элементов с рядами А.И. Перельмана;
- 5) выявление сходства и различия в интенсивности поглощения элементов рассмотренными растениями и растительностью суши.

Исходные материалы. Для выполнения работы предоставляются: таблицы содержания микроэлементов в золе двух растений; таблица рядов биологического поглощения по А.И. Перельману.

Задание 1. Подсчет коэффициентов биологического поглощения. Эти коэффициенты рассчитываются для каждого растения как по отношению к кларкам литосферы (B_c), так и по отношению к содержанию элементов в почвах района (A_x).

Показатель B_c дает представление об общей поглотительной способности данного вида растений и характеризует систематические способности их химизма.

Коэффициент A_x отражает местные особенности поглощения элементов, дает возможность выявить их региональную биохимическую специализацию. Исходные данные приводятся в таблице 3.1.

Задание 2. Построить ряды биологического поглощения для двух растений и сопоставить их между собой. При выполнении этого задания величины B_c и A_x располагаются в порядке убывания коэффициентов, что позволяет в наглядной форме представить интенсивность биологического поглощения элементов каждым из рассмотренных растений.

Задание 3. Сопоставить полученные ряды биологического поглощения с рядами А.И. Перельмана, выделяя в ней группы по интенсивности поглощения. Типовая таблица с полным набором групп интенсивности поглощения приводится (таблица 3.2). Каждый студент выбирает из нее те значения, которые встречаются в составленных им рядах поглощения.

Задание 4. Заключение. Все отмеченные особенности отразить в заключении, которым завершается сделанная по этой теме работа.

Таблица 3.1

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Вереск	Лещина	Почвы	
Cu	27,0	11,4	1,0	4,7
Mn	400,0	152,0	26,8	100,0
Ni	1,0	2,6	1,2	5,8
Sr	12,0	28,0	17,0	34,0
Ni	18,0	11,0	145,0	450,0
Cr	6,3	1,8	3,6	8,3

Таблица 3.2

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичног о $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Вереск						
Лещина						
Раститель- ность суши		Cu	Mn, Sr	Ni, Ti, Cr		

Почвенно-геохимические системы

Системообразующую роль в сопряженных элементарных ландшафтах играют потоки вещества и энергии, миграция химических элементов. По условиям миграции химических элементов Б.Б. Полюнов выделял три основных элементарных ландшафта – элювиальный, супераквальный (надводный) и субаквальный (подводный). Главные факторы в этой классификации – водное питание и сток.

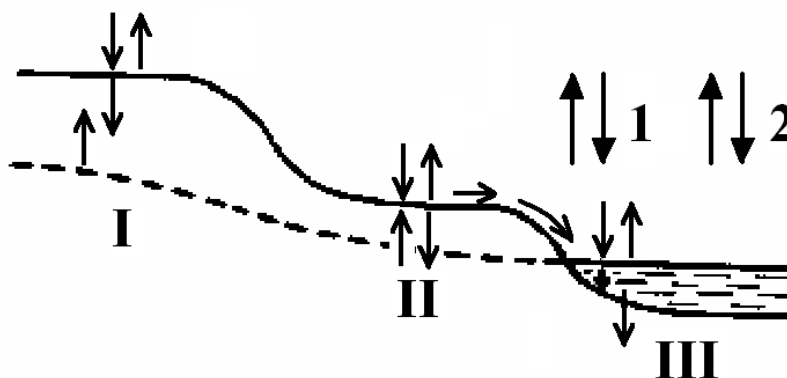


Рис.1. Схема основных типов элементарных ландшафтов по Б. Б. Полюнову. Элементарные ландшафты: I — элювиальный, II — супераквальный, III — субаквальный. 1 — поступление веществ в ландшафт, 2 — удаление веществ из ландшафта. Пунктир — уровень грунтовых вод

К элювиальным ландшафтам относятся водораздельные пространства с глубоким залеганием грунтовых вод. Вещество и энергия поступают в них из атмосферы и через нее. В понижениях рельефа образуются подчиненные – супераквальные (надводные) и субаквальные (подводные) элементарные ландшафты, в которые с водоразделов поступают продукты почвообразования и выветривания. Также выделяются трансэлювиальные (верхние части склонов), элювиально-аккумулятивные (нижние части склонов и сухие ложбины) и аккумулятивно-элювиальные (местные депрессии с глубоким уровнем грунтовых вод) элементарные ландшафты. Сочетания элементарных ландшафтов по элементам рельефа образуют геохимические сопряжения или почвенно-геохимические катены.

Геохимические барьеры

Закономерности проявления геохимических барьеров (ГБ) в природной среде особенно детально разработаны А.И. Перельманом. Под ГБ понимаются

такие территории, на которых на относительно коротком расстоянии (десятки метров) происходит избирательное накопление одних химических элементов и удаление других. ГБ формируются в результате резкой смены кислотности восстановительного и кислотности-основного потенциалов как следствие закономерной пространственной эволюции ландшафта (постепенное осушение болот и, наоборот, увлажнение и заболоченность открытых участков и др.). На площадях с проявлением ГБ происходит аккумуляция техногенных поллютантов.

Избирательность накопления или удаления химических элементов на ГБ является результатом специфического сочетания механических, химических, биологических, геологических и др. условий. Перечень элементов, которые концентрируются на ГБ, зависит от состава поступающих вод и от класса ГБ, определяющегося характером процессов. Перечисленные факторы положены в основу классификации ГБ.

Кислородные или окислительные ГБ образуются в связи с изменением окислительно-восстановительных условий в ландшафте. Такие ГБ формируются на участках резкой смены восстановительной среды на окислительную.

Сульфидный или сероводородный ГБ формируется в тех зонах ландшафта, где кислые или глеевые воды контактируют с сероводородной средой, рН часто около или выше 7, и в результате образуются нерастворимые сульфиды железа, меди, свинца, цинка.

Глеевые ГБ связаны с площадями, где кислые воды встречаются с восстановительной глеевой средой. В этом случае теряется кислород, но в воздухе много CO_2 и CH_4 . На этих ГБ накапливаются в труднорастворимой форме V, Se, Cu, U.

Щелочные ГБ возникают в тех почвенных горизонтах, где наблюдается резкий скачок величины рН и смены кислой и слабокислой среды на щелочную. Особенно контрастные ГБ образуются на контакте карбонатных и силикатных пород. Например, в таежной зоне, где под маломощным валунным суглинком

залегает известняк, формируются горизонты, обогащенные Ca, Mg, Mn, Ba, Sr, V, Zn, Cu, Co, Pb, Cd. Такие же барьеры образуются в известняках и в зоне окисления сульфидных руд. На площадях с техногенным воздействием они могут возникать при нейтрализации кислых атмосферных осадков и поверхностных вод карбонатными породами, в результате чего образуются карбонаты металлов.

Кислые ГБ сопровождают зоны ландшафта с резким изменением условий от щелочных к кислым, от сильнощелочных к слабощелочным, от сильнокислых к слабокислым. На кислых барьерах осаждаются As, Mo, Se. Наличие этих барьеров характерно для зон окисления серных и сульфидных руд, где создается сернокислая среда, для лугово-болотных почв с избытком влаги и разложением больших масс органики, вызывающих накопление органических кислот.

Сорбционные ГБ появляются за счет обменного и безобменного поглощения веществ тонкодисперсными гуминовыми соединениями и глинистыми минералами, несущими отрицательный заряд и сорбирующими в лесной и лесостепной зонах Ni, Co, Cu, Zn, Hg, Ba и другие металлы. Во влажных тропиках, где развиты коры выветривания и почвы с положительно заряженными коллоидами, гидроксидами железа и алюминия сорбируются Cl, S, P, V, As, Cr, Mo. Глинистые минералы и гуминовые вещества способны удерживать K, Zn, Cu и не в обменной форме.

Испарительные ГБ присущи территориям с аридными ландшафтами. При энергичном испарении грунтовых вод барьер формируется на поверхности почв или по их профилю, как и на уровне грунтовых вод. При этом происходит засоление почв, что служит ГБ для многих химических элементов (Ca, Mg, K, Na, F, S, Sr, Cl, Zn и др.).

Достаточно полный перечень химических элементов, накапливающихся в различных типах рассмотренных ГБ, приведен в таблице 1. Необходимо подчеркнуть, что наибольшее количество элементов концентрируется на всех типах барьеров при pH в пределах 3 - 6,5, независимо от различных

окислительно-восстановительных и кислотно-основных условий вод, поступающих к барьерам.

Такое накопление особенно заметно на ГБ щелочного, испарительного и сорбционного типов. Тесная взаимообусловленность состава и режима ГБ и почвенного покрова выявляется при сопоставлении материала, полученного и обобщенного А. И. Перельманом (таблица 2).

Таблица 1

Концентрация химических элементов на геохимических барьерах с различным режимом
(по А.И. Перельману)

Режим геохимических барьеров	рН, окислительно-восстановительные и кислотно-основные условия вод, поступающих к барьерам											
	3	3-6,5	6,5-8,5	>8,5	3	3-6,5	6,5-8,5	> 8,5	3	3-6,5	6,5-8,5	> 8,5
	Кислородные				Глеевые				Сероводородные			
Кислородный	Al, Fe	Fe, Mn, Co	Mn		Fe	Fe, Mn, Co	(Fe), Mn, Co	(Mn)	S, Se, (Fe)	S, Se	S, Se	S, Se
Сульфидный (сероводородный)	Fe, Cu, Hg, Cf, As, Mo, U	Ti, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Mo, U, Hg	Ti, Cr, Mo, U, Se, V	Cu, Ag, Zn, Cr, Mo, U, V, As	Ti, Pb, Cu	Fe, Co, Ni, Pb, Cu, Zn, Cf, Hg, U	Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, (Mo, U)	Cu, Zn, Cd, Hg, Mn, (Fe, Co, Ni, U)				
Глеевый	Cu, U, Mo	Cu, U, Mo	Cu, Cr, U, Mo, Se, V	Cu, Ag, Cr, Mo, V, Se, As	Cu, U, Mo	Cu, U, Mo	Mo, U	Mo, U				

Щелочной	Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Al, Cr, P, As, Al, U, TR	Mg, Ca, Sr, Ba, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, Ra, (U)			Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Hg, P, As, TR	Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, Hg, Al, Cr, P, As, (U)	Mg, Ca, Sr, Ba, Zn, Cd, Mn, Co, Ni		Mg, Ca, Sr, Ba, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, Al, TR, Cr, P, As	Mg, Ca, Sr, Ba		
Кислый			Si, Mo	(Cu, Zn), Ag, Al, TR, Si, (Ti), Mo, Cr			Si, Mo	(Cu, Zn), Ag, Al, TR, Si, (Ti), Mo			Se, Ge	Al, Si, TR, N, B, F, Cl, Br, J
Испарительный	Na, K, Ck, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Al, Mo, U		Li, Na, K, N, B, F, Cl, Br, J, Mg, Ca, Sr, S, Zn, Mo, U, V, Se	Li, Na, K, N, B, F, Cl, Br, J, Cu, Zn, Mo, U, V, Se	Na, K, Ck, Mg, Ca, Sr, S, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd, Al, Mo, U							

Сорбционный	Al, Se, Si, Ge, P, V, As	Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, Cl, Br, J, B, P, V, Mo, As	Li, Na, K, (Cl, Br, J, B, F, S, P, V, Mo, As)	Li, Na, K, (Cl, Br, J, B, F, S, P, V, Mo, As)	Al, Si, Ge, P, V, As	Si, Ba, Zn, Cd, Ni, Co, Pb, Cu, U, Cl, Br, J, F, S, P, Mn, Fe	Li, Na, K, Zn, (Cl, Br, J, B, F, S, P)	Li, Na, K, (Cl, Br, J, B, F)	Al, Si, Ge, P, V, As	Ba, Sr, (Cl, Br, J, B, F, S, P)	Li, Na, K, (Cl, Br, J, B, F, S, P)	Li, Na, K, (Cl, Br, J, B, F, P)
-------------	--	---	---	---	-------------------------------------	--	--	--	-------------------------------------	---	---	---

Таблица 2

Распространение главных геохимических барьеров среди почв различных ландшафтов по А.И.Перельману (1989)

1	Сернокислый	Почвы над сульфидными месторождениями
2	Кислый	Дерново-подзолистые, красноземные, серые лесные, бурые лесные, солоды
3	Нейтральный карбонатный	Степные черноземные, каштановые, сероземные
4	Хлоридно-сульфатный	Верхние горизонты некоторых солончаков степей и пустынь
5	Содовый	Солонцы
6	Бескарбонатный глеевый	Луговые и болотные почвы северных степей, карбонатные луговые и болотные почвы лесной и тундровых зон
7	Соленосный глеевый	Солончаки со слабовосстановительной средой
8	Гипсовый глеевый	Гипсовые горизонты лугов
9	Содовый глеевый	Содовые луговые солонцы
10	Соленосно-сульфидный	Нижние горизонты солончаков
11	Содовый сероводородный	Солонцеватые солонцы

Радиальная геохимическая структура

Для характеристики почвенно-геохимических процессов перераспределения вещества в системе почва-порода используется коэффициент радиальной дифференциации **R**, который представляет собой отношение содержания (валового или подвижного) химического элемента в отдельном генетическом горизонте почвы к его содержанию в почвообразующей породе. Каждый горизонт профиля характеризуется определенным рядом радиальной дифференциации.

Радиальная почвенно-геохимическая дифференциация зависит от многих причин, среди которых можно выделить следующие: строение почвенного профиля, гранулометрический и минералогический состав почв, распределение органического вещества, карбонатов, растворимых солей, окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия. И одной из важнейших причин дифференциации веществ в почвенном профиле является присутствие *радиальных геохимических барьеров*. Они формируются между геохимически контрастными генетическими горизонтами, например, бескарбонатным и карбонатным (*щелочной барьер*), совмещены с целыми горизонтами (A1 – биогеохимический барьер, S – испарительный барьер и т.д.) или с их частями. Концентрация химических элементов на барьерах может во много раз превышать их средние содержания в соседних горизонтах или вмещающем их горизонте.

Как правило, довольно сильно отличается контрастность распределения валовых и подвижных форм химических элементов. Так, валовые формы дифференцированы менее сильно, чем подвижные, извлекаемые из почвы различными растворителями. Сорбированные формы по характеру дифференциации приближены к валовым формам, что подтверждает важную роль глинистых минералов и гидроксидов железа и марганца в фиксации и аккумуляции химических элементов.

Практическая работа 4. Радиальные геохимические барьеры

Практическое занятие по изучению радиальной геохимической структуры предусматривают:

- 1) анализ системы химических и физико-химических показателей для двух типов почв;
- 2) выявление радиальных геохимических барьеров в вертикальных профилях этих почв;
- 3) графическое изображение выявленных геохимических барьеров на схематических профилях почв;
- 4) расчет коэффициента радиальной дифференциации;
- 5) построение геохимических диаграмм.

(Геохимические диаграммы отражают распределение элементов в вертикальном профиле почв и степень контрастности геохимических барьеров у разных элементов)

Исходные материалы. Рисунки почвенных профилей, с графическим изображением аналитических характеристик основных свойств почв; таблица – матрица геохимических барьеров по А.И. Перельману; аналитические данные по содержанию в почвах нескольких элементов.

Задание 1. Провести анализ физико-химических характеристик основных свойств почв. Необходимо проанализировать характер дифференциации генетических профилей почв по их разным свойствам (реакции среды, гумусности, величине емкости поглощения, распределения илистой фракции, полуторных окислов, карбонатов кальция), обращая внимание на резкие смены условий миграции элементов и изменение величин содержания веществ в разных генетических горизонтах.

Так при радиальной миграции веществ почти каждый горизонт генетического профиля может играть роль геохимического барьера. Гумусовый горизонт может выполнять роль биогеохимического барьера, иллювиальный – может быть активным сорбционным барьером, горизонт с резко меняющейся реакцией среды, наличием карбонатов – выраженным щелочным барьером.

Задание 2. Нанести на схематический почвенный профиль границы геохимических барьеров и их индексы. Работа с матрицей геохимических барьеров позволяет увидеть совокупность и значение факторов, оказывающих влияние на интенсивность миграции элементов в почвенном профиле.

Выявленные классы и виды радиальных геохимических барьеров наносятся в виде условных фигурных линий и индексов на схематические рисунки профилей почв.

Задание 3. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации (R). Для того чтобы выявление геохимических барьеров было не умозрительным, его необходимо дополнить расчетом коэффициентов радиальной дифференциации (R) в одной из почв, что дает возможность наглядно убедиться в той роли, которую играют геохимические барьеры в концентрации элементов в вертикальном профиле почв. Коэффициент радиальной дифференциации (R) выявляет изменение содержания элементов в отдельных горизонтах почв по сравнению с почвообразующей породой, отражая характер перераспределения элементов в профиле почв, происходящего за счет процессов почвообразования. При его расчете содержание элементов в каждом генетическом горизонте относится к их содержанию в почвообразующей породе.

Задание 4. Построение геохимических диаграмм. Величины R принято изображать в виде диаграмм, которые наглядно передают контрастность перераспределения элементов в профиле почв. Геохимические диаграммы строятся в виде прямоугольников, размеры которых соответствуют масштабу, выбранному для изображения $R=1$, т.е. величине коэффициента в горизонте С.

Для удобства построения за 1 берется квадрат, размером $1*1$ см, а значения R откладываются по обе стороны центральной оси, соответствуя по высоте мощности почвенных горизонтов. Величина коэффициента проставляется в середине прямоугольника.

Задание 5. Сопоставление диаграмм R с распределением в почвах геохимических барьеров и краткая аннотация выявленных закономерностей.

Геохимические диаграммы следует совмещать с колонкой схематического профиля почв с нанесенными на ней геохимическими барьерами. Это позволяет выявить: 1) классы и виды барьеров, наиболее значимые в данных почвах для миграции элементов; 2) степень контрастности аккумуляции элементов на барьерах;

3) ассоциации элементов, однотипных по особенностям миграции и концентрации. Заключение должно содержать ответы на эти вопросы.

Градации контрастности барьеров можно рекомендовать следующие:

слабоконтрастные барьеры	$R=1,3-1,5$
контрастные	$R=1,5-3,0$
сильноконтрастные	$R>3$

Список литературы

1. Войткевич, Г.В. Справочник по геохимии / Г.В. Войткевич, А.В. Кокин, А.Е. Мирошников, В.Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990. – 480с.
2. Гаврилова, И.П. Практикум по геохимии ландшафта: Учебное пособие /И.П. Гаврилова, Н.С. Касимов. – М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1989. – 73 с.
3. Геохимия ландшафтов и география почв. / Под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. – Смоленск: Ойкумена, 2002. – 456с.
4. Глазовская, М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. / М.А. Глазовская. – М.: Высшая школа, 1988. – 324с.
5. Демина, Т.Я. Геохимия: Методическое руководство к лабораторному практикуму / Т.Я. Демина. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. – 40с.
6. Мотузова, Г.В., Экологический мониторинг почв. / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – 237с.
7. Мусин, А.Е. Геохимия ландшафта: Учебное пособие /А.Г. Мусин, Е.В. Смирнова, И.А. Уразметов. – Казань: ТГГПУ, 2009. – 109с.
8. Патова, Е.Н. Экологический мониторинг: Учебное пособие. / Е.Н. Патова, Кузнецова Е.Г. – Сыктывкар: СЛИ, 2013. – 52с.
9. Экологический мониторинг природных сред: Учебное пособие / В.М. Калинин, Н.Е. Рязанова. – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 203с.
<http://znanium.com/bookread2.php?book=496984>

Приложение к практической работе 1.

Вариант 1. Построить эталонный ранжированный ряд по современным пескам.

Приложение 1.1

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	86,10	59,20	7,41	81,37	36,65
TiO ₂	0,74	1,20	0,14	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	5,45	16,14	1,55	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	1,20	4,36	0,70	4,21	0,70
FeO	1,41	3,24	1,20	0,16	1,07
MnO	0,06	0,09	0,15	0,03	0,04
MgO	0,61	3,14	2,70	0,84	0,50
CaO	0,98	2,52	45,44	1,10	29,43
Na ₂ O	0,55	3,82	0,15	0,07	1,01
K ₂ O	0,96	1,97	0,25	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,16	0,20	17,14
CO ₂	0,58	0,41	39,27	0,59	5,19
SO ₃	0,02	-	0,02	0,15	1,48

А – песок р. Огайо, шт. Иллинойс, США.

Б – летняя глина, ленточный осадок, Финляндия.

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы, Калужская область.

Д – пластовые фосфориты, Брянск.

Вариант 2. Построить эталонный ранжированный ряд по типичным известнякам.

Приложение 1.2

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	86,10	59,20	7,41	81,37	36,65
TiO ₂	0,74	1,20	0,14	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	5,45	16,14	1,55	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	1,20	4,36	0,70	4,21	0,70
FeO	1,41	3,24	1,20	0,16	1,07
MnO	0,06	0,09	0,15	0,03	0,04
MgO	0,61	3,14	2,70	0,84	0,50
CaO	0,98	2,52	45,44	1,10	29,43
Na ₂ O	0,55	3,82	0,15	0,07	1,01
K ₂ O	0,96	1,97	0,25	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,16	0,20	17,14
CO ₂	0,58	0,41	39,27	0,59	5,19
SO ₃	0,02	-	0,02	0,15	1,48

А – песок р. Огайо, шт. Иллинойс, США.

Б – летняя глина, ленточный осадок, Финляндия.

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы, Калужская область.

Д – пластовые фосфориты, Брянск.

Вариант 3. Построить эталонный ранжированный ряд по пластовым фосфоритам.

Приложение 1.3

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	3,14	50,33	7,41	81,37	36,65
TiO ₂	0,04	1,13	0,14	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	3,00	19,17	1,55	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	550,17	6,50	0,70	4,21	0,70
FeO	19,75	2,52	1,20	0,16	1,07
MnO	0,48	0,13	0,15	0,03	0,04
MgO	1,40	3,77	2,70	0,84	0,50
CaO	10,13	1,43	45,44	1,10	29,43
Na ₂ O	-	1,78	0,15	0,07	1,01
K ₂ O	-	4,03	0,25	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,08	0,14	0,16	0,20	17,14
CO ₂	7,90	0,41	39,27	0,59	5,19
SO ₃	0,07	-	0,02	0,15	1,48

А – железные осадочные руды, Керченское месторождение.

Б – зимняя глина, ленточный осадок, Финляндия.

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы, Калужская область.

Д – пластовые фосфориты, Брянск.

Вариант 4. Построить эталонный ранжированный ряд по железным осадочным рудам.

Приложение 1.4

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	3,14	50,33	7,41	81,37	36,65
TiO ₂	0,04	1,13	0,14	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	3,00	19,17	1,55	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	550,17	6,50	0,70	4,21	0,70
FeO	19,75	2,52	1,20	0,16	1,07
MnO	0,48	0,13	0,15	0,03	0,04
MgO	1,40	3,77	2,70	0,84	0,50
CaO	10,13	1,43	45,44	1,10	29,43
Na ₂ O	-	1,78	0,15	0,07	1,01
K ₂ O	-	4,03	0,25	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,08	0,14	0,16	0,20	17,14
CO ₂	7,90	0,41	39,27	0,59	5,19
SO ₃	0,07	-	0,02	0,15	1,48

А – железные осадочные руды, Керченское месторождение.

Б – зимняя глина, ленточный осадок, Финляндия.

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы, Калужская область.

Д – пластовые фосфориты, Брянск.

Вариант 5. Построить эталонный ранжированный ряд по глинистым осадочным породам.

Приложение 1.5

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	66,7	59,65	7,41	88,92	1,24
TiO ₂	0,6	0,67	0,14	0,16	2,48
Al ₂ O ₃	13,5	13,54	1,55	4,28	57,29
Fe ₂ O ₃	1,6	5,97	0,70	2,03	6,39
FeO	3,5	0,29	1,20	0,50	9,10
MnO	0,1	0,01	0,15	0,05	0,09
MgO	2,1	3,07	2,70	0,44	0,62
CaO	2,5	4,93	45,44	0,41	2,72
Na ₂ O	2,9	0,74	0,15	0,08	-
K ₂ O	2,0	3,15	0,25	0,26	-
P ₂ O ₅	0,2	-	0,16	0,17	0,68
CO ₂	1,2	4,06	39,27	0,21	6,32
SO ₃	0,1	0,22	0,02	0,08	0,59

А – песчаники (кварцевые)

Б – глинистые толщи Русской платформы (четвертичная группа)

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы (опока черная), Калужская обл.

Д – боксит светло-серый, Северный Урал

Вариант 6. Построить эталонный ранжированный ряд по кварцевым песчаникам.

Приложение 1.6

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	66,7	59,65	7,41	88,92	1,24
TiO ₂	0,6	0,67	0,14	0,16	2,48
Al ₂ O ₃	13,5	13,54	1,55	4,28	57,29
Fe ₂ O ₃	1,6	5,97	0,70	2,03	6,39
FeO	3,5	0,29	1,20	0,50	9,10
MnO	0,1	0,01	0,15	0,05	0,09
MgO	2,1	3,07	2,70	0,44	0,62
CaO	2,5	4,93	45,44	0,41	2,72
Na ₂ O	2,9	0,74	0,15	0,08	-
K ₂ O	2,0	3,15	0,25	0,26	-
P ₂ O ₅	0,2	-	0,16	0,17	0,68
CO ₂	1,2	4,06	39,27	0,21	6,32
SO ₃	0,1	0,22	0,02	0,08	0,59

А – песчаники (кварцевые)

Б – глинистые толщи Русской платформы (четвертичная группа)

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы (опока черная), Калужская обл.

Д – боксит светло-серый, Северный Урал

Вариант 7. Построить эталонный ранжированный ряд по бокситам Северного Урала.

Приложение 1.7

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	66,7	59,65	7,41	88,92	1,24
TiO ₂	0,6	0,67	0,14	0,16	2,48
Al ₂ O ₃	13,5	13,54	1,55	4,28	57,29
Fe ₂ O ₃	1,6	5,97	0,70	2,03	6,39
FeO	3,5	0,29	1,20	0,50	9,10
MnO	0,1	0,01	0,15	0,05	0,09
MgO	2,1	3,07	2,70	0,44	0,62
CaO	2,5	4,93	45,44	0,41	2,72
Na ₂ O	2,9	0,74	0,15	0,08	-
K ₂ O	2,0	3,15	0,25	0,26	-
P ₂ O ₅	0,2	-	0,16	0,17	0,68
CO ₂	1,2	4,06	39,27	0,21	6,32
SO ₃	0,1	0,22	0,02	0,08	0,59

А – песчаники (кварцевые)

Б – глинистые толщи Русской платформы (четвертичная группа)

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы (опока черная), Калужская обл.

Д – боксит светло-серый, Северный Урал

Вариант 8. Построить эталонный ранжированный ряд по кремнистым породам.

Приложение 1.8

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	66,7	59,65	7,41	88,92	1,24
TiO ₂	0,6	0,67	0,14	0,16	2,48
Al ₂ O ₃	13,5	13,54	1,55	4,28	57,29
Fe ₂ O ₃	1,6	5,97	0,70	2,03	6,39
FeO	3,5	0,29	1,20	0,50	9,10
MnO	0,1	0,01	0,15	0,05	0,09
MgO	2,1	3,07	2,70	0,44	0,62
CaO	2,5	4,93	45,44	0,41	2,72
Na ₂ O	2,9	0,74	0,15	0,08	-
K ₂ O	2,0	3,15	0,25	0,26	-
P ₂ O ₅	0,2	-	0,16	0,17	0,68
CO ₂	1,2	4,06	39,27	0,21	6,32
SO ₃	0,1	0,22	0,02	0,08	0,59

А – песчаники (кварцевые)

Б – глинистые толщи Русской платформы (четвертичная группа)

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы (опока черная), Калужская обл.

Д – боксит светло-серый, Северный Урал

Вариант 9. Построить эталонный ранжированный ряд по глинистым осадочным породам.

Приложение 1.9

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	3,14	50,33	7,41	81,37	36,65
TiO ₂	0,04	1,13	0,14	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	3,00	19,17	1,55	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	550,17	6,50	0,70	4,21	0,70
FeO	19,75	2,52	1,20	0,16	1,07
MnO	0,48	0,13	0,15	0,03	0,04
MgO	1,40	3,77	2,70	0,84	0,50
CaO	10,13	1,43	45,44	1,10	29,43
Na ₂ O	-	1,78	0,15	0,07	1,01
K ₂ O	-	4,03	0,25	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,08	0,14	0,16	0,20	17,14
CO ₂	7,90	0,41	39,27	0,59	5,19
SO ₃	0,07	-	0,02	0,15	1,48

А – железные осадочные руды, Керченское месторождение.

Б – зимняя глина, ленточный осадок, Финляндия.

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы, Калужская область.

Д – пластовые фосфориты, Брянск.

Вариант10. Построить эталонный ранжированный ряд по типичным известнякам.

Приложение 1.10

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	3,14	50,33	7,41	81,37	36,65
TiO ₂	0,04	1,13	0,14	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	3,00	19,17	1,55	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	550,17	6,50	0,70	4,21	0,70
FeO	19,75	2,52	1,20	0,16	1,07
MnO	0,48	0,13	0,15	0,03	0,04
MgO	1,40	3,77	2,70	0,84	0,50
CaO	10,13	1,43	45,44	1,10	29,43
Na ₂ O	-	1,78	0,15	0,07	1,01
K ₂ O	-	4,03	0,25	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,08	0,14	0,16	0,20	17,14
CO ₂	7,90	0,41	39,27	0,59	5,19
SO ₃	0,07	-	0,02	0,15	1,48

А – железные осадочные руды, Керченское месторождение.

Б – зимняя глина, ленточный осадок, Финляндия.

В - типичный известняк (кристаллический, силур).

Г – кремнистые породы, Калужская область.

Д – пластовые фосфориты, Брянск.

Вариант 11. Построить эталонный ранжированный ряд по глинистым осадочным породам.

Приложение 1.11

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	86,10	59,20	2,55	81,37	36,65
TiO ₂	0,74	1,20	0,02	0,28	0,16
Al ₂ O ₃	5,45	16,14	0,23	3,83	1,02
Fe ₂ O ₃	1,20	4,36	0,02	4,21	0,70
FeO	1,41	3,24	0,18	0,16	1,07
MnO	0,06	0,09	0,04	0,03	0,04
MgO	0,61	3,14	7,07	0,84	0,50
CaO	0,98	2,52	45,65	1,10	29,43
Na ₂ O	0,55	3,82	0,01	0,07	1,01
K ₂ O	0,96	1,97	0,03	0,31	0,47
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,04	0,20	17,14
CO ₂	0,58	0,41	43,60	0,59	5,19
SO ₃	0,02	-	0,03	0,15	1,48

А – песок р. Огайо, шт. Иллинойс, США.

Б – летняя глина, ленточный осадок, Финляндия.

В - доломитовый известняк (девон)

Г – кремнистые породы, Калужская область.

Д – пластовые фосфориты, Брянск.

Вариант 12. Построить эталонный ранжированный ряд по песчаным осадочным породам.

Приложение 1.12

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	64,59	57,23	2,55	2,02	8,51
TiO ₂	0,47	0,45	0,02	0,06	0,36
Al ₂ O ₃	14,66	16,63	0,23	1,01	6,12
Fe ₂ O ₃	2,89	7,80	0,02	1,11	1,77
FeO	3,55	-	0,18	-	36,91
MnO	0,08	0,01	0,04	0,05	0,42
MgO	3,83	3,63	7,07	0,35	3,75
CaO	0,46	0,98	45,65	50,15	5,54
Na ₂ O	1,60	2,74	0,01	0,10	0,05
K ₂ O	5,86	1,59	0,03	0,14	0,03
P ₂ O ₅	0,22	-	0,04	34,51	1,30
CO ₂	0,31	0,04	43,60	4,15	20,70
SO ₃	-	0,56	0,03	0,32	-

А – песок (тиллит) шт. Мичиган, США

Б – монтмориллонитовые глины, Тюмень

В - доломитовый известняк (девон)

Г – натечный фосфорит, Свердловская обл.

Д – железосодержащие породы, Кливленд, Великобритания

Вариант 13. Построить эталонный ранжированный ряд по железосодержащим осадочным породам.

Приложение 1.13

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	64,59	57,23	2,55	2,02	8,51
TiO ₂	0,47	0,45	0,02	0,06	0,36
Al ₂ O ₃	14,66	16,63	0,23	1,01	6,12
Fe ₂ O ₃	2,89	7,80	0,02	1,11	1,77
FeO	3,55	-	0,18	-	36,91
MnO	0,08	0,01	0,04	0,05	0,42
MgO	3,83	3,63	7,07	0,35	3,75
CaO	0,46	0,98	45,65	50,15	5,54
Na ₂ O	1,60	2,74	0,01	0,10	0,05
K ₂ O	5,86	1,59	0,03	0,14	0,03
P ₂ O ₅	0,22	-	0,04	34,51	1,30
CO ₂	0,31	0,04	43,60	4,15	20,70
SO ₃	-	0,56	0,03	0,32	-

А – песок (тиллит) шт. Мичиган, США

Б – монтмориллонитовые глины, Тюмень

В - доломитовый известняк (девон)

Г – натечный фосфорит, Свердловская обл.

Д – железосодержащие породы, Кливленд, Великобритания

Вариант 14. Построить эталонный ранжированный ряд доломитовым известнякам.

Приложение 1.14

Химический состав осадочных и почвообразующих пород, %

Компоненты	А	Б	В	Г	Д
SiO ₂	64,59	57,23	2,55	2,02	8,51
TiO ₂	0,47	0,45	0,02	0,06	0,36
Al ₂ O ₃	14,66	16,63	0,23	1,01	6,12
Fe ₂ O ₃	2,89	7,80	0,02	1,11	1,77
FeO	3,55	-	0,18	-	36,91
MnO	0,08	0,01	0,04	0,05	0,42
MgO	3,83	3,63	7,07	0,35	3,75
CaO	0,46	0,98	45,65	50,15	5,54
Na ₂ O	1,60	2,74	0,01	0,10	0,05
K ₂ O	5,86	1,59	0,03	0,14	0,03
P ₂ O ₅	0,22	-	0,04	34,51	1,30
CO ₂	0,31	0,04	43,60	4,15	20,70
SO ₃	-	0,56	0,03	0,32	-

А – песок (тиллит) шт. Мичиган, США

Б – монтмориллонитовые глины, Тюмень

В - доломитовый известняк (девон)

Г – натечный фосфорит, Свердловская обл.

Д – железосодержащие породы, Кливленд, Великобритания

Приложение к практической работе 3.

Вариант 1. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.1

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Вереск	Лещина	Почвы	
Cu	27,0	11,4	1,0	4,7
Mn	400,0	152,0	26,8	100,0
Ni	1,0	2,6	1,2	5,8
Sr	12,0	28,0	17,0	34,0
Ni	18,0	11,0	145,0	450,0
Cr	6,3	1,8	3,6	8,3

Приложение 3.2

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Вереск						
Лещина						
Растительность суши		Cu	Mn, Sr	Ni, Ti, Cr		

Вариант 2. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.3

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Мята	Девясил	Почвы	
Mg	250	160	1300	1870
Al	440	320	6400	8050
Si	300	360	28000	29500
Ni	0,42	2,6	4	5,8
Cu	3,2	1,4	2	4,7
Zn	7,7	3,2	5	8,5

Приложение 3.4

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Мята						
Девясил						
Растительность суши	Zn	Cu	Mg, Ni	Al, Si		

Вариант 3. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.5

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Тысячелистник	Мята	Почвы	
P	400	400	80	93
S	300	420	85	47
K	4700	3500	1900	2500
Pb	2,4	2,2	1	1,6
Se	0,07	15,3	0,001	0,05
Br	2,3	1,2	0,5	0,2

Приложение 3.6

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Тысячелистник						
Мята						
Растительность суши	Se, Br	P, S	Pb	K		

Вариант 4. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.7

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Мята	Арча	Почвы	
Ti	6	22	500	450
Mn	14	5	85	100
Fe	55	25	3800	4650
Rb	2,6	1,4	6	15
Sr	1,3	35,5	30	34
Zr	0,6	2,8	30	17

Приложение 3.8

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Мята						
Арча						
Растительность суши		Mn	Rb	Sr, Ti	Fe	

Вариант 5. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.9

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Травосмесь	Эфедра	Почвы	
Ca	1800	3800	8000	2960
Mn	9	4	85	100
Ni	0,4	0,2	4	5,8
Cu	1,4	0,7	2	4,7
Zn	5,3	2,7	5	8,5
Sr	4,1	2,7	30	34

Приложение 3.10

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Травосмесь						
Эфедра						
Растительность суши	Cu, Zn	Mn	Ca, Ni,	Sr		

Вариант 6. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.11

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Тысячелистник	Травосмесь	Почвы	
Mg	370	300	1300	1870
Al	420	300	8700	8050
P	310	290	80	93
K	4500	3600	2600	2500
Cu	2	2,3	2	4,7
Zn	9,9	6	5	8,5

Приложение 3.12

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Тысячелистник						
Травосмесь						
Растительность суши	Mg, P, Zn	Cu	K	Al		

Вариант 7. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.13

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Эфедра	Мята	Почвы	
Si	37	190	32000	29500
S	150	280	85	47
Ti	11	5	440	450
Fe	23	80	4000	4650
Ni	0,13	2	4	5,8
Pb	0,48	0,7	1	1,6

Приложение 3.14

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Эфедра						
Мята						
Растительность суши	S		Ni, Pb	Si, Fe, Ti		

Вариант 8. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.15

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Тысячелистник	Эфедра	Почвы	
Cl	580	220	10	17
Ca	2600	3200	880	2960
Mn	1	3	120	100
Br	9	4,4	0,5	0,2
Rb	1,1	0,5	6	15
Sr	10,8	7	30	34

Приложение 3.16

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Тысячелистник						
Эфедра						
Растительность суши	Br	Mn	Ca, Rb	Sr	Cl	

Вариант 9. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.17

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Мята	Травосмесь	Почвы	
Ni	2	0,4	4	5,8
Cu	1	2,3	2	4,7
Zn	4,8	6	5	8,5
Br	17,9	8,1	0,5	0,2
Rb	6	8,1	6	15
Sr	15,9	15,2	30	34

Приложение 3.18

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Мята						
Травосмесь						
Растительность суши	Zn, Br	Cu	Ni, Rb	Sr		

Вариант 10. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.19

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Зизифора	Шиповник	Почвы	
Mg	240	150	1300	1870
Si	230	20	31800	29500
S	360	55	85	47
Cl	130	17	10	17
Ca	2500	710	2900	2960
Ti	15	3	560	450

Приложение 3.20

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Зизифора						
Шиповник						
Растительность суши	S, Mg		Ca	Si, Ti	Cl	

Вариант 11. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.21

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Мята	Зизифора	Почвы	
Mg	480	240	1300	1870
Ti	4	15	560	450
Mn	9	11	140	100
Zn	8,5	1,2	5	8,5
Pb	0,3	0,6	1	1,6
Br	4	0,7	0,5	21

Приложение 3.22

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Мята						
Зизифора						
Растительность суши	Mg, Zn, Br	Mn	Pb	Ti		

Вариант 12. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.23

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Зизифора	Травосмесь	Почвы	
Fe	114	63	4600	4650
Cu	1,8	2,1	2	4,7
Pb	0,6	0,3	1	1,6
Br	0,7	2	0,5	0,2
Rb	1,2	0,1	6	15
Sr	13,4	4,3	30	34

Приложение 3.24

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Зизифора						
Травосмесь						
Растительность суши	Br	Cu	Pb, Rb	Fe, Sr		

Вариант 13. Рассчитайте коэффициенты биологического поглощения

Приложение 3.25

Содержание химических элементов в золе растений

Элементы	Содержание в золе растений и почвах района, $n \cdot 10^{-3}\%$			Кларк литосферы
	Береза	Сосна	Почвы	
Zn	530	130	5	8,5
Pb	530	110	1	1,6
Ba	410	280	50	65
Ag	2,3	0,4	0,01	0,007
Mo	0,4	0,2	0,2	0,1
Ni	3	3	4	5,8

Приложение 3.26

Ряды биологического поглощения

Объект	Группы по А.И. Перельману					
	Биологического накопления			Биологического захвата		
	энергичного $A_x=100-10$	сильного $A_x=10-5$	слабого $A_x=5-1$	среднего $A_x=1-0,1$	слабого $A_x=0,1-0,01$	очень слабого $A_x=0,01-0,001$
Береза						
Сосна						
Растительность суши	Zn	Ag, Mo	Pb, Ni	Ba		

Приложение к практической работе 4.

Вариант 1. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.1

Содержание элементов (Ci, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в типичной подзолистой суглинистой

Горизонты	Элементы и параметры					
	Fe		Ni		Co	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A ₀	4501		16,2		2,4	
A1A2	2770		18,5		3,1	
A2	1475		1,8		1,6	
B _t	57		0,5		0,3	
B _{tFe}	16		0,6		0,2	
C	6		0,6		0,7	

Вариант 2. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.2

Содержание элементов (Ci, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в каштановой почве

Горизонты	Элементы и параметры					
	Cr		Mn		Cu	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1	2,56		402		15,6	
A1B	2,39		355		14,3	
B _{ca}	2,19		308		12,3	
B _{cs}	1,88		283		10,9	
BC	1,94		305		11,8	
C	2,19		319		10,7	

Вариант 3. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.3

Содержание элементов (Ci, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в типично-подзолистой суглинистой почве

Горизонты	Элементы и параметры					
	Cd		Pb		Cr	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A ₀	10,4		41,0		157,0	
A1A2	11,6		35,0		171,6	
A2	0,3		10,1		6,9	
B _t	0,1		2,1		1,2	
B _{tFe}	0,1		0,4		0,4	
C	0,1		1,3		0,5	

Вариант 4. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.4

Содержание элементов (Сi, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в серой лесной почве

Горизонты	Элементы и параметры					
	Cu		Mn		Co	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A ₁	1,4		631,0		2,1	
A ₁ A ₂	1,0		257,0		1,2	
B	1,4		204,0		1,7	
B _m	2,8		104,7		1,9	
BC	1,8		135,0		1,5	
C _{ca}	1,6		83,0		1,2	

Вариант 5. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.5

Содержание элементов (Сi, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в иллювиально-гумусовом подзоле

Горизонты	Элементы и параметры					
	Mn		Cu		Zn	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A ₀	420,1		109,1		281,1	
A ₂	384,6		10,6		21,9	
B _{hAl}	45,5		1,1		4,7	
B _{hFe}	43,5		1,8		3,5	
C	29,4		1,7		3,2	

Вариант 6. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.6

Содержание элементов (Сi, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в солонце

Горизонты	Элементы и параметры					
	Mn		Cu		Zn	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1A2	485		23,8		56,7	
B _t	426		22,7		55,6	
B _{ca}	392		20,6		64,8	
B _{cs}	339		22,7		62,0	
B _s	278		19,5		50,9	
C _s	288		19,9		48,3	

Вариант 7. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.7

Содержание элементов (Сi, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в солонце

Горизонты	Элементы и параметры					
	Co		B		Zn	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1A2	13,1		4,1		52,1	
B _t	12,2		7,9		51,9	
B _{ca}	13,3		22,9		62,0	
B _{cs}	12,8		27,6		64,8	
B _s	14,2		15,9		50,9	
C _s	12,8		11,9		46,5	

Вариант 8. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.8

Содержание элементов (Сi, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в каштановой почве

Горизонты	Элементы и параметры					
	Zn		Ni		Pb	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1	15,6		2,22		2,23	
A1B	14,0		3,13		1,76	
B _{ca}	15,5		3,09		1,39	
B _{cs}	16,0		3,18		1,40	
BC	17,9		3,32		2,24	
C	18,6		3,37		2,41	

Вариант 9. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.9

Содержание элементов (Сi, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в черноземе

Горизонты	Элементы и параметры					
	Mn		Cu		Zn	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1 _h	320		19,9		48,6	
A1B	538		20,2		50,9	
B _{ca}	218		20,0		50,9	
C _{ca}	138		16,4		36,8	

Вариант 10. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.10

Содержание элементов (Ci, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в солоди

Горизонты	Элементы и параметры					
	Mn		Cu		Zn	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1A2	482		20,3		47,7	
A2	371		17,0		47,0	
B _t ^{Na}	221		21,4		58,1	
B _{ca(g)}	205		23,5		62,3	
C _{ca}	235		18,4		48,0	

Вариант 11. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.11

Содержание элементов (Ci, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в солоди

Горизонты	Элементы и параметры					
	Co		Mo		B	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1A2	10,6		0,09		3,20	
A2	11,2		0,11		4,80	
B _t ^{Na}	8,4		0,02		11,1	
B _{ca(g)}	8,0		0,01		16,5	
C _{ca}	7,6		0,46		8,20	

Вариант 12. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.12

Содержание элементов (Ci, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в типично-подзолистой суглинистой почве

Горизонты	Элементы и параметры					
	Fe		Zn		Cu	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A ₀	3063		281,0		109,1	
A1A2	2562		102,3		42,2	
A2	2095		21,9		10,6	
B _t	2203		8,5		2,6	
B _{tFe}	312		4,7		1,1	
C	379		3,2		1,7	

Вариант 13. Рассчитать коэффициенты радиальной дифференциации почвы по трем элементам.

Приложение 4.13

Содержание элементов (Ci, мг/кг) и коэффициенты радиальной дифференциации (R) в черноземе

Горизонты	Элементы и параметры					
	Zn		Cr		Cu	
	Ci	R	Ci	R	Ci	R
A1 _h	136		89,4		39,1	
A1B	98,0		76,5		30,7	
B _{ca}	46,9		70,7		25,8	
C _{ca}	71,4		63,2		21,6	

Учебное издание

**Смирнова Елена Васильевна
Валеева Альбина Альбертовна**

МОНИТОРИНГ ПОЧВ

Подписано в печать 26.10.2015.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Times New Roman». Усл. печ. л. .

Тираж экз. Заказ

Отпечатано с готового оригинал-макета
в типографии Издательства Казанского университета

420008, г. Казань, ул. Профессора Нужина, 1/37
тел. (843) 233-73-59, 233-73-28