

УДК556.  
3:519.87(470.63)

**Блужина А. С. [Bluzhina A. S.]**  
**Бегдай И. В. [Begday I. V.]**

## **ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ВОДОСБОРЕ РЕКИ КАЛАУС ТЕРРИТОРИИ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

**Features of geochemical processes  
in the catchment area of the river Kalaus  
in the Stavropol territory**

В статье на основании рассчитанных геохимических коэффициентов проанализировано распределение тяжелых металлов в системе «растение – почва – природная вода – донные отложения» агроландшафтов бассейна реки Калаус на территории Ставропольского края. На основании геохимических коэффициентов составлена биогеохимическая формула по Добровольскому В.Г. для ландшафтно-геохимической катены участка протекания р. Калаус. При изучении миграционных особенностей химических элементов в долинных участках реки применен факторный анализ. Для подтверждения связи между содержанием металлов в донных отложениях относительно почвы пшеничного поля нами составлены матрицы корреляционной зависимости для изученных ландшафтно-геохимических катен. В результате матричного анализа выявлена характерная картина поведения элементов во взаимосвязи миграционных путей. Идентичные отрицательные значения корреляционных коэффициентов в системе «почва-донные отложения» имеют Cu, Zn, Mn. Отмечается сильная взаимосвязь по меди, средняя по цинку, а по кадмию средняя статистически важная, умеренная по свинцу и кобальту.

The article, based on the calculated coefficients of geochemical analyzes the distribution of heavy metals in system «plant – soil – natural water – bottom sediments» agro-landscapes Kalaus river in the Stavropol Territory. On the basis of geochemical biogeochemical factors made up the formula for Dobrovolsky V.G. for landscape-geochemical catena section flowing river Kalaus. In the study of migration features of chemical elements in the lowland areas of the river used factor analysis. To confirm the connection between the metal content in sediments relative to the soil wheat fields we compiled correlation matrices for the studied landscape geochemical catenas. As a result of the analysis of the matrix revealed a characteristic pattern of behavior of elements in the migratory routes of the relationship. Identical negative correlation coefficients in the system «soil-sediments» have Cu, Zn, Mn. There is a strong relationship for Cu, the average of Zn and Cd on average statistically significant, moderate on Pb and Co.

**Ключевые слова:** почва, река, донные отложения, коэффициент водной миграции, коэффициент биологического поглощения, биогеохимическая формула, коэффициент донной аккумуляции, катена, корреляционная зависимость, факторный анализ, геохимические миграционные потоки.

**Key words:** soil, river, sediments, water migration rate, the rate of biological absorption, biogeochemical formula bottom accumulation factor, catena, correlation, factor analysis, geochemical migration flows.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Гидрографической особенностью Ставропольского края является то, что его предгорная часть имеет густую сеть рек, на равнине их количество и водоносность резко сокращаются и северо-восточная часть края

фактически лишена речного стока. Помимо особенной речной системы, Ставропольский край особенен еще и тем, что относится к регионам с аграрной направленностью и на протяжении многих лет сельское хозяйство является главной отраслью экономики края. В растениеводстве основной зерновой культурой является озимая пшеница. Если обратиться к пространственному расположению сельскохозяйственных полей, то в некоторых случаях можно наблюдать следующую картину: расположение поля в плакорной части и протекание реки в нижней части склона в границах водосборной площади. Содержание химических элементов в природных водах и интенсивность их миграции зависят от различных условий на водосборных площадях. К такому наряду с физико-географическими условиями необходимо отнести антропогенную и техногенную факторы.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Вопросы изучения региональных особенностей миграционных процессов вызвали особый интерес как у исследователей XX века, так и у исследователей современности. Так, среди современных исследователей региональных особенностей известны следующие имена: С.Ф. Спицина, Т.Н. Ткаченко, В.Г. Бахарев [11] изучают особенности водной миграции микроэлементов. В ходе своих исследований они установили, что медь, марганец, цинк, кобальт, молибден и бор являются постоянными компонентами природных вод Алтайского края, а миграционная способность в значительной степени зависит от их содержания в почвообразующих породах, а также от климатических условий. Закономерности геохимической миграции отдельных элементов являются объектом изучения Н.С. Четвериковой, Л.В. Марциневской [13]. Ими проведены исследования особенностей распределения свинца в пахотном слое почв, а также с увеличением глубины в условиях агроландшафтов лесостепной зоны ЦЧО. В рамках исследований ими произведена агроэкологическая оценка содержания свинца в почвах, а также в сельскохозяйственных культурах, рассчитан коэффициент биологического поглощения растениями озимой пшеницы, проанализированы закономерности количественного содержания свинца, на основании которых учеными выявлена закономерность: уменьшение содержания свинца с увеличением глубины, по отношению к пахотному слою почвы.

Особенностями сезонной миграции микроэлементов в триаде таких компонентов ландшафта, как «почва-растение-животное» в степных ландшафтах Челябинской области занимаются М.А. Дерхо, М.В. Елисеенкова [4]. Н.М. Троц, С.В. Обущенко, В.Б. Троц, изучая особенности поступления тяжелых металлов в озимые зерновые культуры на территории Самарского Заволжья [12], приходят к выводу о различиях накопления и характера локализации кадмия, свинца, цинка, меди, кобальта и марганца в фитомассе озимых культур, в различных почвенно-климатических условиях. Геохимические

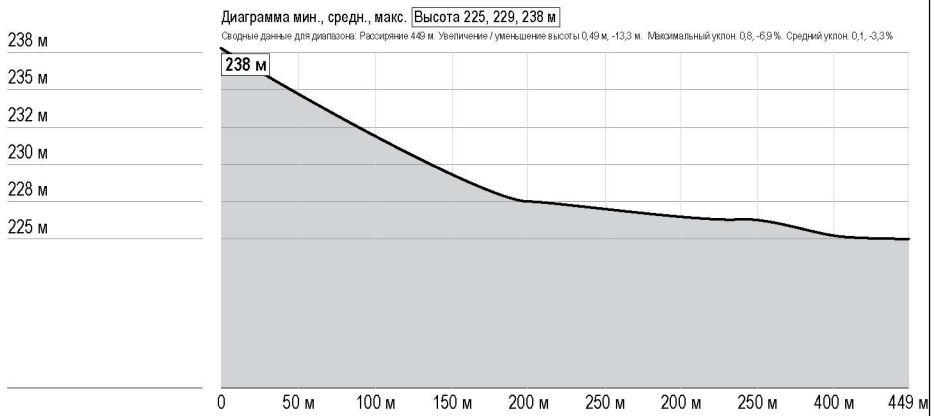


Рис. 1.

Катена № 1 и профиль высот местности при впадении р. Большой Янкуль в р. Калаус № 1.

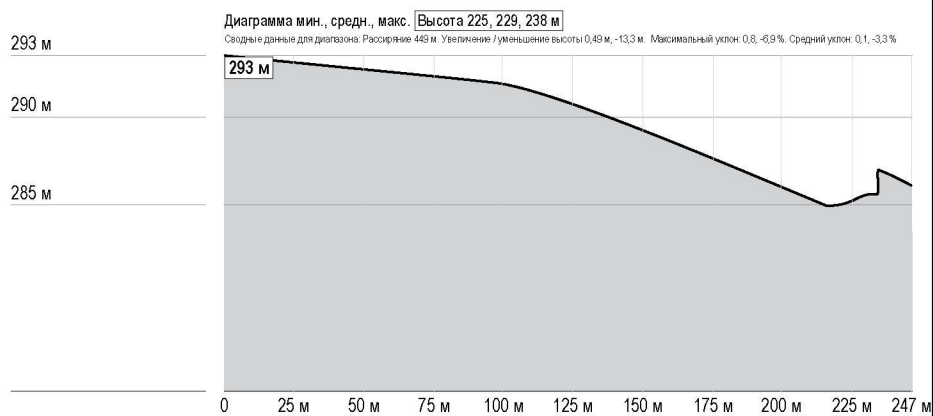
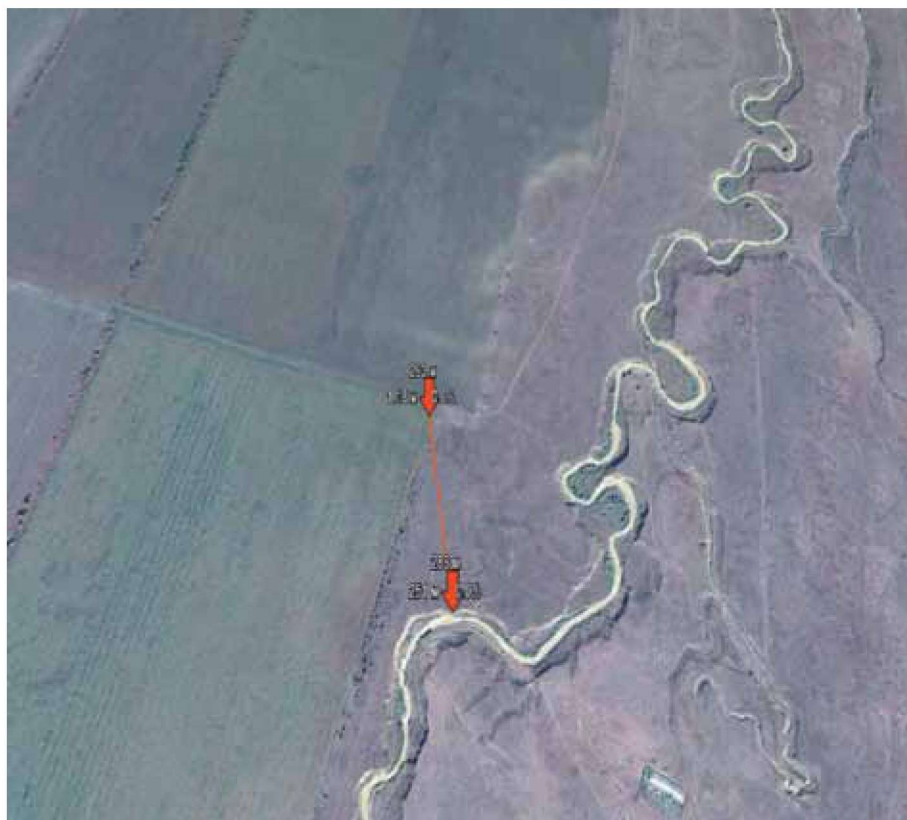


Рис. 1.

Катена № 2 и профиль высот местности бассейна  
р. Калаус.

особенности распределения марганца и хрома в агроландшафтах Ростовской области, проанализированы О.Н. Заболотной. Вопросами геохимических особенностей миграции тяжелых металлов в агроландшафтах занимаются и зарубежные ученые. Китайские исследователи Чанчунь Хуан, Хао Ян, Юнмай Ли Джун Цзоу и др. [17] отмечают сильнейшее воздействие сельского хозяйства на почвенный покров. Дж. М. Цзоу, В. Дай и др. [17] проведены исследования по анализу пространственных изменений и источников тяжелых металлов в почвах сельхозугодий пригородов Пекина. О взаимосвязи содержания микроэлементов в системе «почва-растение» говорится в исследованиях С. Чжан, Т. Зонд, Л. Лю и др. [17]. Французские исследователи К. Фрич, М. Кёердазир, П. Жироду и др. [16] занимаются вопросами пространственно-временных особенностей переноса металлов в биоту ландшафта. Изучение тяжелых металлов в грунтах [18] на территории Польши связано с именами А. Гробелак и А. Напоры.

Основываясь на описанных выше исследованиях, можно сделать вывод о необходимости исследования и выявления особенностей миграционных процессов в бассейновой части р. Калаус, отличительной чертой которой является перепад высот между участками исследований (рис. 1–2).

Как видно из рисунка 1, расстояние между точками отбора проб в профиле составляет 449 м, разница высот между верхней и нижней точкой составляет 11 м, средний уклон территории 3,3 %, точки отбора проб воды и донных отложений выбраны в месте впадения р. Большой Янкуль в р. Калаус.

Рисунок 2 демонстрирует катену № 2 и профиль высот местности, расстояние между точками отбора проб составляет 449 м, разница высот между верхней и нижней точкой составляет 7 м, средний уклон территории 4%, точки отбора проб воды и донных отложений выбраны на р. Калаус.

## МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения закономерностей геохимической миграции элементов закладываются реперные участки исследования, представляющие собой ландшафтно-геохимические катены с автономной элементарной ландшафтно-геохимической системой (ЭЛГС) – пшеничное поле и подчиненной ландшафтно-геохимической системой – речные воды и донные отложения. Пробы почвы, растений пшеницы, воды и донных отложений отбираются в соответствии с рекомендациями, отраженными в Федеральном законе № 102-ФЗ от 26.06.2008 «Об обеспечении единства измерений». Анализ отобранных проб проводится в аттестованной научно-учебной лаборатории «Экоаналитическая лаборатория» СКФУ. Содержание тяжелых металлов определяется методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на атомно-абсорбционном спектрометре с атомизацией в пламени iCE 3300 (Thermo Scientific, США) после озонения проб почвы, донных отложений и сухо-воздушной смеси растений пшеницы азотной кислотой. В работе мы оперируем средними значе-

ниями тяжелых металлов, установленными при лабораторных анализах. Достоверность полученных сведений подтверждается значением рассчитанного среднеквадратичного отклонения (СКО).

Для подтверждения связи между содержанием металлов в донных отложениях относительно почвы пшеничного поля нами составлены матрицы корреляционной зависимости для изученных ландшафтно-геохимических катен. Матрицы корреляционной зависимости представляют собой ее графическое изображение на основе факторного анализа и необходимы для создания модели взаимного влияния факторов в виде значений концентраций веществ в почве и донных отложениях в условиях ландшафтно-геохимических катен на участках равнинных территорий р. Калаус. На корреляционный многофакторный анализ в своих исследованиях опирались П.М. Мазуркин, О.Ю. Евдокимова, Ю.В. Сивоконь, И.В. Бегдай, Е.В. Бондарь, Н.Е. Перекопской [3].

Взаимосвязь элементов в катенах подтверждается именно матриксами корреляционной зависимости, помимо этого, одним из важнейших показателей является особенность распространения каждого элемента в катене от начальной элементраной ландшафтной геохимической системы к конечной элементарной ландшафтной геохимической системе. Такой показатель носит название коэффициент латеральной дифференциации или коэффициент местной миграции. Для всех катен в условиях протекания реки рассчитан и представлен графически местный коэффициент миграции.

Для определения степени вовлечения элементов в геохимические миграционные процессы рассчитан коэффициент водной миграции ( $K_v$ ) и биологического поглощения. На основании геохимических коэффициентов составлена биогеохимическая формула по В.В. Добровольскому. Биогеохимическая формула имеет вид неправильной дроби. На месте целого числа указывается типоморфный элемент, в скобках после него – растворенный в воде газ. В числителе приводятся индикаторные рассеянные элементы, у которых коэффициент биологического поглощения больше коэффициента водной миграции, в знаменателе – элементы с обратными соотношениями  $K_b$  и  $K_v$  [5]. Таким образом, выделяются две основные для данного ландшафта группы индикаторных элементов, способствующие геохимическому сопряжению: первая – наиболее интенсивно вовлекаемые в биологический круговорот, вторая – в водную миграцию.

## ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В автономной ЭЛГС катены № 1 и №2 бассейна р. Калаус, согласно карте почвообразующих пород, составленной М.Т. Куприченковым, Т.М. Антоновой [8] и др., на основании материалов Л.Г. Балаева и П.В. Царева [2], также, как и в условиях протекания р. Большой Егорлык, на аллювиальных песчано-галечниковых образованиях залегают глины и тяжелые суглинки с характерной красно-бурой или темно-коричневой окраской. Таким

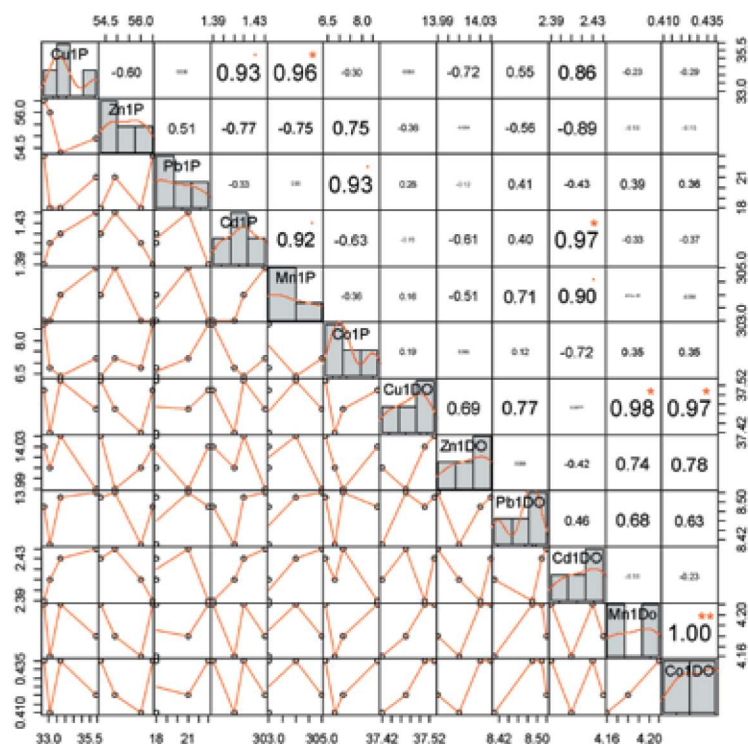
образом, почвообразующими породами являются карбонатные пылеватые суглинки (лессовидные). Химический состав лессовидных суглинков в бассейне р. Калаус имеет тот же состав, что и в условиях протекания р. Большой Егорлык.

В условиях платообразного рельефа автономной ЭЛГС катены №1 (Сергиевское-Светлоград) сформировались черноземы обыкновенные и черноземы южные (Атлас Ставропольского края, 1968) [8] или, как их еще называют, южные и обыкновенные (мицелярно-карбонатные) малогумусные черноземы [1]. В условиях катены №2 (Светлоград-Ипатово) сформировались темнокаштановые и каштановые солонцеватые почвы (Атлас Ставропольского края, 1968) [8]. Общее падение местности здесь идет в северном и северо-восточном направлениях, и равнинный рельеф нарушается довольно глубокой долиной Калауса. В подобных условиях в нижних частях склонов почвообразующие породы засолены, что и явилось одной из причин развития засоленных почв. В условиях функционирования автономных ЭЛГС бассейна р. Калаус сформировался естественный непромывной тип водного режима. Благодаря климатическим особенностям распространенные здесь каштановые почвы выщелачиваются лишь в очень слабой степени и из них вымываются только легкорастворимые соли, при этом, каштановые почвы обычно карбонатны [1].

Однако наряду с карбонатными встречаются некарбонатные. Исследование качественного состава перегной каштановых почв, проведенное А.Я. Антыковым и А.Я. Стоморевым, показывает, что в нем преобладают кислоты в соединении с кальцием. Для этих почв характерно преобладание в составе гумуса гуминовых кислот над фульвокислотами. Солонцеватые разновидности отличаются от несолонцеватых большей подвижностью гуминовых.

Особый интерес вызывает взаимосвязь изученных компонентов в биогеохимической структуре автономной и подчиненной ЭЛГС. Именно корреляционный анализ определяет биогеохимическую структуру как состояние ландшафта, возникающее в результате многовариантного и неоднозначного поведения взаимосвязей различных компонентов [14]. Для определения взаимосвязи между изученными компонентами в почве и донных отложениях представляется возможным рассчитать корреляционную зависимость концентрации элементов в подчиненной и автономной ЭЛГС.

Для подтверждения связи между содержанием металлов в донных отложениях относительно почвы пшеничного поля нами составлены матрицы корреляционной зависимости для изученных ландшафтно-геохимических катен. Звездочкой в каждом матриксе отмечены значения коэффициентов корреляции, которые имеют статистическую уверенность более 95% и именно эти связи имеют наибольшую статистическую значимость, двумя звездочками отмечены значения коэффициентов корреляции, которые имеют статистическую уверенность более 99%, это связи также имеют наибольшую



**Рис. 2.** Матрикс корреляционной зависимости содержания тяжелых металлов в донных отложениях от их содержания в почве плакора в катене № 1 р. Калаус.

статистическую значимость, однако такие значения встречаются очень редко. Значения коэффициентов корреляции без звездочек демонстрируют наличие связи, но без статистической значимости или наименьшую статистическую значимость.

На рисунке 2 изображен матрикс, характеризующий коэффициент корреляции содержания металлов в донных отложениях относительно почвы на поле пшеницы, рассчитанный поэлементно в пределах ландшафтно-геохимической катены № 1 в бассейне р. Калаус.

На рис. 3 изображен матрикс, характеризующий коэффициент корреляции содержания металлов в донных отложениях относительно почвы на поле



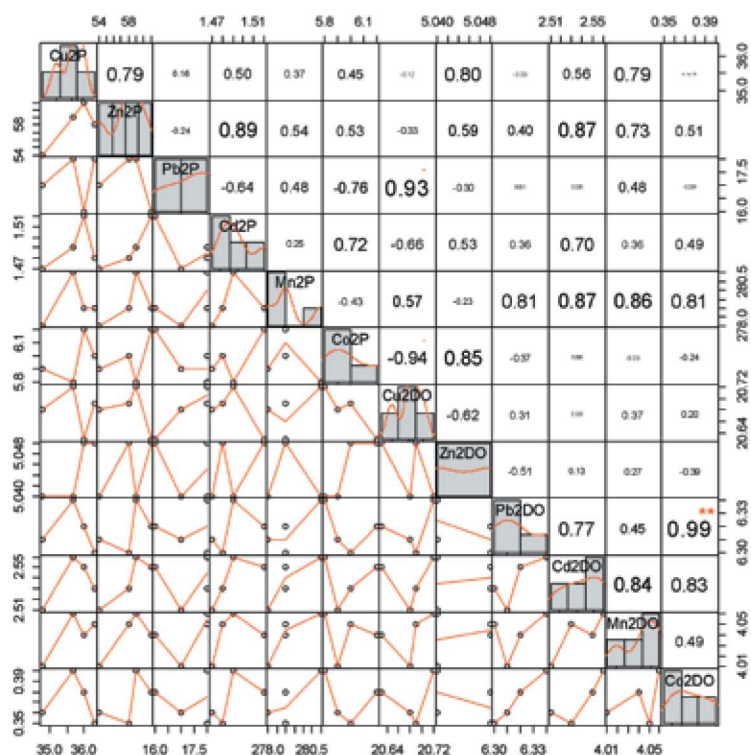
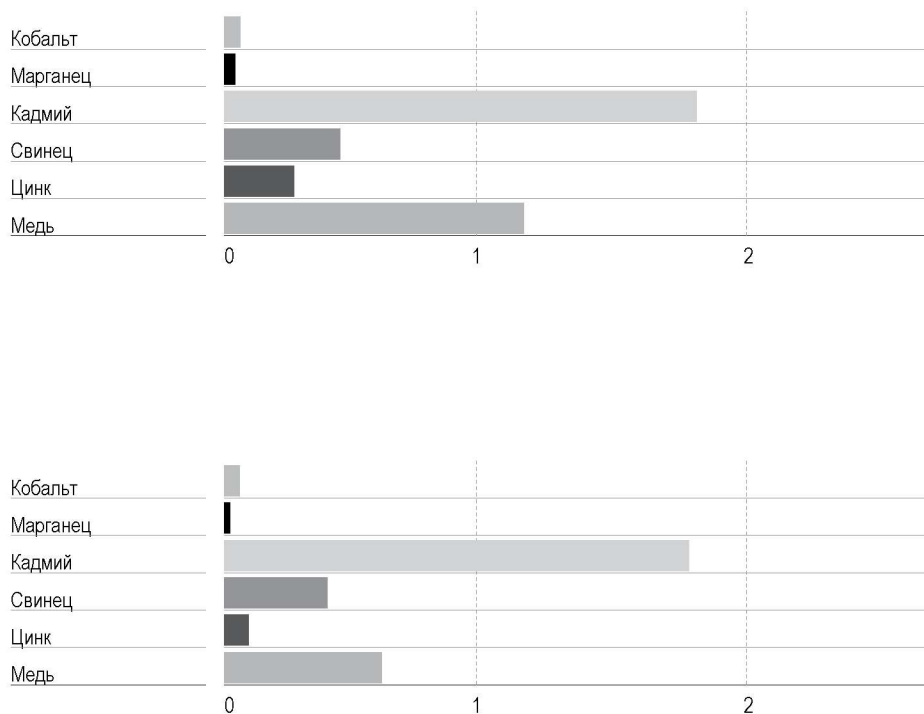


Рис. 3. Матрикс корреляционной зависимости содержания тяжелых металлов в донных отложениях от их содержания в почве плакора в катене № 2 р. Калаус.

пшеницы, рассчитанный поэлементно в пределах ландшафтно-геохимической катены № 2 в бассейне р. Калаус

В результате матричного анализа (рис. 2, 3) катен № 1 и № 2 выявлена характерная картина поведения элементов во взаимосвязи миграционных путей. Идентичные отрицательные значения корреляционных коэффициентов в системе «почва – донные отложения» имеют Cu, Zn, Mn. Отмечается сильная взаимосвязь по меди, средняя по цинку, а по кадмию средняя статистически важная, умеренная по свинцу и кобальту.

На рис. 4 изображена диаграмма, характеризующая латерально-миграционную дифференциацию катены № 1 в бассейне р. Калаус.



**Рис. 4.** Ландшафтно-миграционная дифференциация катены № 1 и № 2 в бассейне р. Калаус.

Катена № 1 в бассейне р. Калаус характеризуется как: аккумулятивная по кадмию, монотонная по меди и транзитная по цинку, свинцу, марганцу и кобальту. Катена № 2 в бассейне р. Калаус характеризуется концентрацией кадмия в донных отложениях, монотонного распределения элементов не наблюдается, катена транзитна по меди, цинку, свинцу, марганцу и кобальту.

Числовые значения геохимических коэффициентов для исследуемых участков, и выведенная на их основе биогеохимическая формула представлены в табл. 1.

Биогеохимическая формула участка исследования № 1 свидетельствует о том, что участие кадмия и марганца в биологическом круговороте, значительно превалирует над процессами водной миграции, в которых участвуют медь, цинк, свинец и кобальт. Биогеохимическая сопряженность элементов

Таблица 1. ЗНАЧЕНИЯ ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ НА УЧАСТКЕ ПРОТЕКАНИЯ Р. КАЛАУС

	КАТЕНА № 1						КАТЕНА № 2					
	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn	Co	Cu	Zn	Pb	Cd	Mn	Co
К в.м.	0,71	0,68	0,2	0,045	0,00003	2,00	0,77	0,71	0,034	0,045	0,00001	0,007
К б.п.	0,11	0,34	0,01	0,23	0,029	0,01	0,10	0,39	0,013	0,38	0,03	0,01
БГ формула	* $Ca^{2+} (CO_2) \frac{Cd, Mn}{Cu, Zn, Pb, Co}$						* $Ca^{2+} (CO_2) \frac{Cd, Mn}{Cu, Zn, Pb, Co}$					

Таблица 2. КОЭФФИЦИЕНТ ДОННОЙ АККУМУЛЯЦИИ НА УЧАСТКАХ ИССЛЕДОВАНИЯ № 1 И № 2 В БАССЕЙНЕ Р. КАЛАУС

Участок исследования	Коэффициент донной аккумуляции					
	Кс (Cu)	Кс (Zn)	Кс (Pb)	Кс (Cd)	Кс (Mn)	Кс (Co)
№ 1	3,05	1,15	1,45	1	1,23	0,92
№ 2	2,01	3,08	1,94	1	1,18	0,95

на участке исследования № 2, согласно биогеохимической формуле, выглядит так: кадмий и марганец характеризуются преобладающей доступностью для биологического круговорота, в процессах водной миграции участвуют медь, цинк, свинец и кобальт.

О дальнейшем распределении тяжелых металлов в бассейне р. Калаус свидетельствует коэффициент донной аккумуляции химических элементов в донных отложениях реперных участков исследования (табл. 2).

Из таблицы видно, что на участках № 1 и № 2 бассейна р. Калаус за счет процессов выщелачивания, наблюдается подвижность свинца и его участие в процессе водной миграции. Подвижность меди и участие ее в процессах водной миграции в аллювиальных элементарных ландшафтах реперных участков бассейна р. Калаус обусловлена хелато- или комплексобразованием.

## ВЫВОДЫ

На основании результатов анализа распределения металлов в донных отложениях, а также биогеохимических формул реперных участков № 1 и № 2 бассейна р. Калаус становится ясно, что в условиях участка № 1, Cd активно захватывается растениями пшеницы, Mn также участвует в процессах биологического поглощения, однако его присутствие и накапливание наблюдается и в донных отложениях этого участка. В донных отложениях аккумулируются Cu, Zn и Pb. Co наиболее активно участвует в процессах водной миграции в условиях участка №1. На участке № 2 Co участвует как в поглощении растениями пшеницы, так и в накапливании донным грунтом.

Полученные данные могут учитываться при проведении мониторинга миграционных процессов и создании единой информационной базы, которая позволит в дальнейшем совершенствовать систему управления качеством водных и земельных ресурсов, кроме того полученные сведения могут быть учтены при агромелиорации и составлении плана посевных мероприятий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антыков А.Я., Стоморев А.Я. Почвы Ставрополя и их плодородие. Ставропольское книжное изд-во, 1970. 415 с.
2. Балаев Л.Г., Царев П.В. Лессовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. М.: Наука, 1964. 248 с.
3. Бегдай И.В., Бондарь Е.В., Перекопская Н.Е. Исследование загрязнения родников города Ставрополя методом факторного анализа // Наука. Инновации. Технологии. Научный журнал Северо-Кавказского федерального университета, 2016. Вып. 2. С. 77–89.
4. Дерхо М.А., Елисеенкова М.В. особенности сезонной миграции микроэлементов в триаде «почва-растение-животный организм» в степном ландшафте заповедника «Аркаим» // Аграрный вестник Урала. 2009. № 9 (63). С. 67–69.
5. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 400 с.
6. Исаченко А.Г. Экологическая география России. СПб.: Издательский дом СПбГУ, 2001. 328 с.
7. Кондратьева Л.М. Вторичное загрязнение водных экосистем // Вод. ресурсы, 2000. Т. 27. № 2. С. 221–231.
8. Купреинсков М.Т., Антонова Т.Н., Симбирев Н.Ф., Цыганков А.С. Земельные ресурсы Ставрополя и их плодородие. Ставрополь, 2002. 320 с.
9. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 2000. 610 с.

10. Румянцев А.Н. Химические аспекты вторичного загрязнения водных экосистем // Труды Псковского политехнического института. 2008. № 11. С. 114–117.
11. Спицына С.Ф., Ткаченко Т.Н., Бахарев В.Г. Коэффициенты водной миграции микроэлементов: меди, цинка, марганца, кобальта, бора и молибдена в Алтайском крае // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2007. № 11 (37). С. 35–38.
12. Троц Н.М., Троц В.Б., Обущенко С.В. Аккумуляция тяжелых металлов зерновыми бобовыми культурами в агроландшафтах Самарского Заволжья // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 2. С. 50–51.
13. Четверикова Н.С., Марциневская Л.В. Кадмий в агроландшафтах лесостепной зоны ЦЧО // Достижения науки и техники АПК. 2013. № 7. С. 69–70.
14. Шальнев В.А. Общая география и учение о геверсуме. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2015.
15. Li XY, Liu LJ, Wang YG, Luo GP, Chen X, et al. (2012) Integrated Assessment of Heavy Metal Contamination in Sediments from a Coastal Industrial Basin, NE China. PLOS ONE 6: e39690. doi: 10.1371/journal.pone.0039690. pmid:22768107.
16. Fritsch C, Coeurdassier M, Giraudoux P, Raoul F, Douay F, Rieffel D, et al. (2011) Spatially Explicit Analysis of Metal Transfer to Biota: Influence of Soil Contamination and Landscape. PLoS ONE 6(5): e20682. doi:10.1371/journal.pone.0020682.
17. Huang C, Yang H, Li Y, Zou J, Zhang Y, Chen X, et al. (2015) Investigating Changes in Land Use Cover and Associated Environmental Parameters in Taihu Lake in Recent Decades Using Remote Sensing and Geochemistry. PLoS ONE 10(4): e0120319. doi:10.1371/journal.pone.0120319.
18. Grobelak A, Napora A (2015) The Chemophytostabilisation Process of Heavy Metal Polluted Soil. PLoS ONE 10(6): e0129538. doi:10.1371/journal.pone.0129538.

## REFERENCES

1. Antykov A.YA., Stomorev A.YA. Pochvy Stavropol'ya i ikh plodородие. Stavropol'skoe knizhnoe izd-vo, 1970, 415 s.
2. Balaev L.G., TSarev P.V. Lessovye porody TSentral'nogo i Vostochnogo Predkavkaz'ya. M.: Nauka, 1964-248 s.
3. Begdaj I.V., Bondar' E.V., Perekopskaya N.E. Issledovanie zagryazneniya rodnikov goroda Stavropolya metodom faktornogo analiza // Nauka. Innovatsii. Tekhnologii Nauchnyj zhurnal Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta, 2016. vyp. №2. S. 77-89.
4. Derkho M.A., Eliseenkova M.V. osobennosti sezonnoj migratsii mikroelementov v triade «pochva-rastenie-zhivotnyj organizm» v stepnom landshafte zapovelnika «Arkaim» // agrarnyj vestnik Urala. 2009. №9 (63). S. 67–69.

5. Dobrovolskij V.V. Osnovy biogeokhimii. Uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij M.: Izdatel'skij tsentr «Akademiya», 2003. 400 s.
6. Isachenko A.G. EHkologicheskaya geografiya Rossii. SPb.: Izdatel'skij dom SPbGU, 2001. 328 s.
7. Kondrat'eva L.M. Vtorichnoe zagryaznenie vodnykh ehkosistem // Vod. resursy, 2000. T. 27. № 2. S. 221–231.
8. Kupreinskoy M.T., Antonova T.N., Simbirev N.F., TSygankov A.S. Zemel'nye resursy Stavropol'ya i ikh plodorodie. Stavropol'. 2002. 320 s.
9. Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geokhimiya landshafta. M.: Astreya, 2000. 610 s.
10. Rumyantsev A.N. KHimicheskie aspekty vtorichnogo zagryazneniya vodnykh ehkosistem // Trudy Pskovskogo politekhnicheskogo instituta. 2008. № 11. S. 114–117.
11. Spitsyna S.F., Tkachenko T.N., Bakharev V.G. Koehffitsienty vodnoj migratsii mikroelementov: medi, tsinka, margantsa, kobal'ta, bora i molibdena v Altajskom krae // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2007. № 11 (37). S. 35–38.
12. Trots N.M., Trots V.B., Obushhenko S.V. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov zernovymi bobovymi kul'turami v agrolandshaftakh Samarskogo Zavolzh'ya // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2012. №2. S. 50–51.
13. CHetverikova N.S., Martsinevskaya L.V. Kadmij v agrolandshaftakh lesostepnoj zony TSCHO // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2013. №7. S. 69–70.
14. SHal'nev V.A. Obshhaya geografiya i uchenie o geoversume. – Stavropol': Izd-vo SKFU, 2015.
15. Li XY, Liu LJ, Wang YG, Luo GP, Chen X, et al. (2012) Integrated Assessment of Heavy Metal Contamination in Sediments from a Coastal Industrial Basin, NE China. PLOS ONE 6: e39690. doi: 10.1371/journal.pone.0039690. pmid:22768107.
16. Fritsch C, Coeurdassier M, Giraudoux P, Raoul F, Douay F, Rieffel D, et al. (2011) Spatially Explicit Analysis of Metal Transfer to Biota: Influence of Soil Contamination and Landscape. PLoS ONE 6(5): e20682. doi:10.1371/journal.pone.0020682.
17. Huang C, Yang H, Li Y, Zou J, Zhang Y, Chen X, et al. (2015) Investigating Changes in Land Use Cover and Associated Environmental Parameters in Taihu Lake in Recent Decades Using Remote Sensing and Geochemistry. PLoS ONE 10(4): e0120319. doi:10.1371/journal.pone.0120319.
18. Grobelak A, Napora A (2015) The Chemophytostabilisation Process of Heavy Metal Polluted Soil. PLoS ONE 10(6): e0129538. doi:10.1371/journal.pone.0129538.