

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОВРЕМЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. БОЛЬШОЙ КОКШАГИ

А.В. Исаев¹, Р.Н. Шарафутдинов², Г.А. Богданов³

^{1,3} Государственный природный заповедник «Большая Кокшага», научный отдел

² Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета

¹ Марийский государственный университет, Институт естественных наук и фармации

¹ Зам. директора по научной работе, канд. с.-х. наук; e-mail: avsacha@yandex.ru

² Кафедра химии и экологии, доц., канд. биол. наук; e-mail: sharafrn@yandex.ru

³ Старший научный сотрудник; e-mail: gpzbk@bk.ru

Приведены результаты исследований гранулометрического и элементного состава современных аллювиальных отложений среднего течения р. Большой Кокшаги. Показано, что они играют существенную роль в формировании почв лишь на меандрирующих участках русла в непосредственной близости от уреза воды (7–10 м), где масса наносов на прирусловом валу в разные годы составляет от 32 до 200 т/га. На расстоянии 25 м она снижается до 7,2 т/га, а на расстоянии 500 м редко превышает 100 кг/га. При побочневом типе русловых процессов масса аллювия в прирусловой части поймы составляет не более 400 кг/га. Химический состав аллювия отражает влияние двух минералого-геохимических провинций (Центрально-Русской и Приуральской). Установлено, что аллювий фации прирусловых валов содержит большее количество Si, Na, Zr, Sr и Cr, приречной поймы – Al, Fe, K, Mg, Ti и As, внутренней поймы – Ca, P, Mn, S, Ni, Cu, Zn, Ba и Rb. В аллювиальных отложениях установлено шесть геохимических ассоциаций: Fe–Ca–Mn–S–P–Ba–Zn, Al–K–Mg–Ti–Cr, Si–Na–Zr, Fe–Mn–Ni–As, P–Cu и Sr–Rb. Поступление Si, Na, Sr и Zr связано с фракцией песка; Al, K, Mg, Ti и Ni – с иллюстрийной фракцией, а Fe, Ca, P, Mn, S, Ba и Zn – с пылеватой. Аллювиальные отложения обогащены ($EF > 1$) относительно почв элювиального ландшафта Марийского Полесья Fe, Ca, P, Mn, S и Zn (биогенный фактор поступления), Al, K, Mg, Ti и Cr (литогенный), а также Ni и Cu (хемогенный). В них накапливаются ($KK > 1,5$) Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S и Zr, рассеиваются ($KP > 1,5$) Al, K, Mg, Ca, Na, Rb, Ti и Sr, близки к величине кларка Fe, Ba и Cr. Концентрация элементов в аллювии превышает гигиенические нормативы (ПДК и ОДК) по S, Mn, As, Cu, Ni и Zn. Содержание химических элементов в аллювии можно считать приближенным к естественному (фоновому) уровню.

Ключевые слова: заповедник «Большая Кокшага», Fluvisols, химические элементы, кларки концентрации, геохимические ассоциации, коэффициент обогащения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.5.12

ВВЕДЕНИЕ

Познание структурно-функциональной организации ландшафта, представляющего собой «клеточку биосфера» [Перельман, Касимов, 1999], требует изучения каждого из его структурных компонентов, связи между которыми осуществляются в процессе миграции вещества, энергии и передачи информации. Одним из таких компонентов в супераквальных ландшафтно-геохимических системах являются современные аллювиальные отложения, образующиеся вследствие аккумуляции речных наносов на поверхности поймы. Их роль особенно четко проявляется в пределах пойменно-руслового комплекса, представляющего собой наиболее динамичную часть речной долины, которая чутко реагирует на все изменения природного и техногенного характера.

В настоящее время накоплен обширный литературный материал, раскрывающий вопросы формирования аллювия, особенности аккумуляции, его качественные и количественные характеристики: [Шанцер, 1966; Янин, 2002; Перевоцников, 2007; Du Laing et al., 2009; Ibragimow et al., 2010; Кривцов и др., 2015; Wang et al., 2015; Воробьев и др., 2021; Chougong et al., 2021], разработаны способы сбора: [Голосов, 2009; Nguyen, 2011; Кривцов и др., 2015]. Тем не менее, как отмечают некоторые исследователи, в меньшей степени освещены вопросы, связанные с геохимией аллювиального литогенеза [Янин, 2002], недостаточно работ, в которых задействованы прямые методы наблюдения за динамикой пойменного осадконакопления [Воробьев и др., 2021]. Многообразие природно-климатических условий, в которых происходит формирование речных на-

носов, и отсутствие подобных исследований на территории Республики Марий Эл подчеркивают актуальность нашей работы, целью которой является литолого-geoхимическая характеристика современных аллювиальных отложений пойменной макрофации и выявление их роли в формировании аллювиальных почв. Решены следующие задачи: 1) определены масса аллювия и его гранулометрический состав; 2) определено содержание валовых форм элементов, установлена их связь с гранулометрическим составом; 3) установлены geoхимические ассоциации элементов, а также geoхимическая специфика отложений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования явились современные аллювиальные отложения (взвешенные и влекомые наносы, переносимые рекой в период половодья) прирусовой и центральной частей поймы р. Большой Кокшаги в пределах территории одноименного заповедника. Подробная характеристика территории обследования, данные по элементному и гранулометрическому составу аллювиальных почв (Fluvisols) приведены в [Исаев, 2008; Isaev et al., 2023].

Протяженность р. Большой Кокшаги, которая является левым притоком р. Волги и берет начало в Кировской области, составляет 294 км. Литологическая основа ее бассейна в верхнем течении представлена покровными суглинками и глинами (Ярано-Кокшагская равнина) [Тюлин, 1976]. В пределах Республики Марий Эл протяженность реки составляет 156 км, а литологическая основа представлена мощной толщей древнеаллювиальных и современных аллювиальных песков и супесей (Марийское Полесье) [Смирнов, 1968]. Долина реки имеет хорошо выраженную двухстороннюю пойму шириной до 3 км и надпойменные террасы. Поверхность поймы неровная, грядово-западинная, заболоченная, прорезанная старицами. Основными типами русловых процессов являются побочневый и свободное меандрирование.

Изучение элементного состава аллювия проводилось в течение шести лет (2017–2019, 2021–2023 гг.) на девяти временных пробных площадках (ВПП), заложенных в 2004–2005 гг. на типичном для среднего течения р. Большой Кокшаги участке меандрирующего русла, представляющего излучину, вогнутый, отступающий берег которой упирается в первую надпойменную террасу, сложенную песками четвертичного возраста (почвы – подзолы иллювиально-железистые – Folic Albic Podzols (Arenic)). ВПП расположены на профиле, пересекающем пойму реки перпендикулярно ее руслу в вершине меандра (рис. 1). ВПП 1–4 заложены в прирусовой части поймы на пологих вершинах грив,

ширина которых варьирует от 5 до 25 м, расстояние от уреза воды в меженный период составляет 7, 25, 75 и 130 м соответственно, а высота над уровнем воды – от 1,5 (ВПП 3 и 4) до 2,5 м (ВПП 1 и 2). Почвенный покров представлен аллювиальными дерновыми кислыми слоистыми почвами (Eutric Fluvisols (Arenic)) легкого гранулометрического состава (связнопесчаные и легкосуглинистые). ВПП 5–9 заложены в центральной части поймы на участках с ровным рельефом на расстоянии от уреза воды 310, 460, 540, 650 и 720 м соответственно, высота над уровнем воды изменяется от 1,5 до 2 м. Почвы – аллювиальные луговые кислые средне- и тяжелосуглинистые (Gleyic Fluvisols (Clayic)). Растительность на ВПП 1 (прирусовый вал) представлена ассоциацией из костреца безостого (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), на ВПП 2 – ивняком, на остальных ВПП – дубово-липово-вязовыми древостоями.

С целью определения влияния типа русового процесса на количественный и качественный состав аллювия дополнительно устанавливались седиментационные ловушки на двух ВПП на участке реки с побочневым типом русловых процессов, где нет разрушения берегов – урочище Старый Переезд (СП). Ловушки устанавливали на ровных участках прирусовой части поймы (СП 1 и СП 2) на расстоянии 10 и 60 м от уреза воды соответственно. Почвы – аллювиальные луговые кислые тяжелосуглинистые, древостой – дубово-липово-вязовый.

В качестве седиментационных ловушек использовали пластиковое щетинистое покрытие, нарезанное на сегменты размером 40×44 см и установленное на каждой ВПП зимой на расстоянии 5–7 м друг от друга. Применение подобных материалов хорошо зарекомендовало себя на практике [Ngyuen, 2011]. Ловушки были уложены на очищенную от лесной подстилки поверхность почвы, закреплены колышками из нержавеющей стали. На ВПП 1 и 2 было установлено по одной седиментационной ловушке, на ВПП 3–9 – по три, а на СП 1 и 2 – по две. Ловушки в понижениях рельефа не устанавливались, так как при более длительном стоянии воды активно развиваются зеленые нитчатые водоросли, отделить в таком случае свежие наносы от органического материала не представляется возможным.

После окончания половодья седиментационные ловушки помещали в индивидуальные пакеты, в лабораторных условиях очищали от аллювия. Содержание валовых форм элементов и потеря при прокаливании (ППП) определяли в научно-исследовательском центре «ГеоЛаб» Института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приолжского) федерального университета с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного

спектрометра S8 Tiger (Bruker, Германия) по стандартизированной методике Geoquant® фирмы Bruker, ППП, согласно ГОСТ 23740–2016. Полученные минимальные значения содержания элементов не выходили за пределы чувствительности использованной аппаратуры. Гранулометрический состав определяли в лаборатории Набережночелнинского института

(филиала) Казанского (Приволжского) федерального университета на лазерном анализаторе размеров частиц серии «Микросайзер 201С». Объем выборки для определения элементного состава составил 51 образец, гранулометрического – 26 образцов из-за небольшого количества аллювия, полученного с некоторых ВПП.

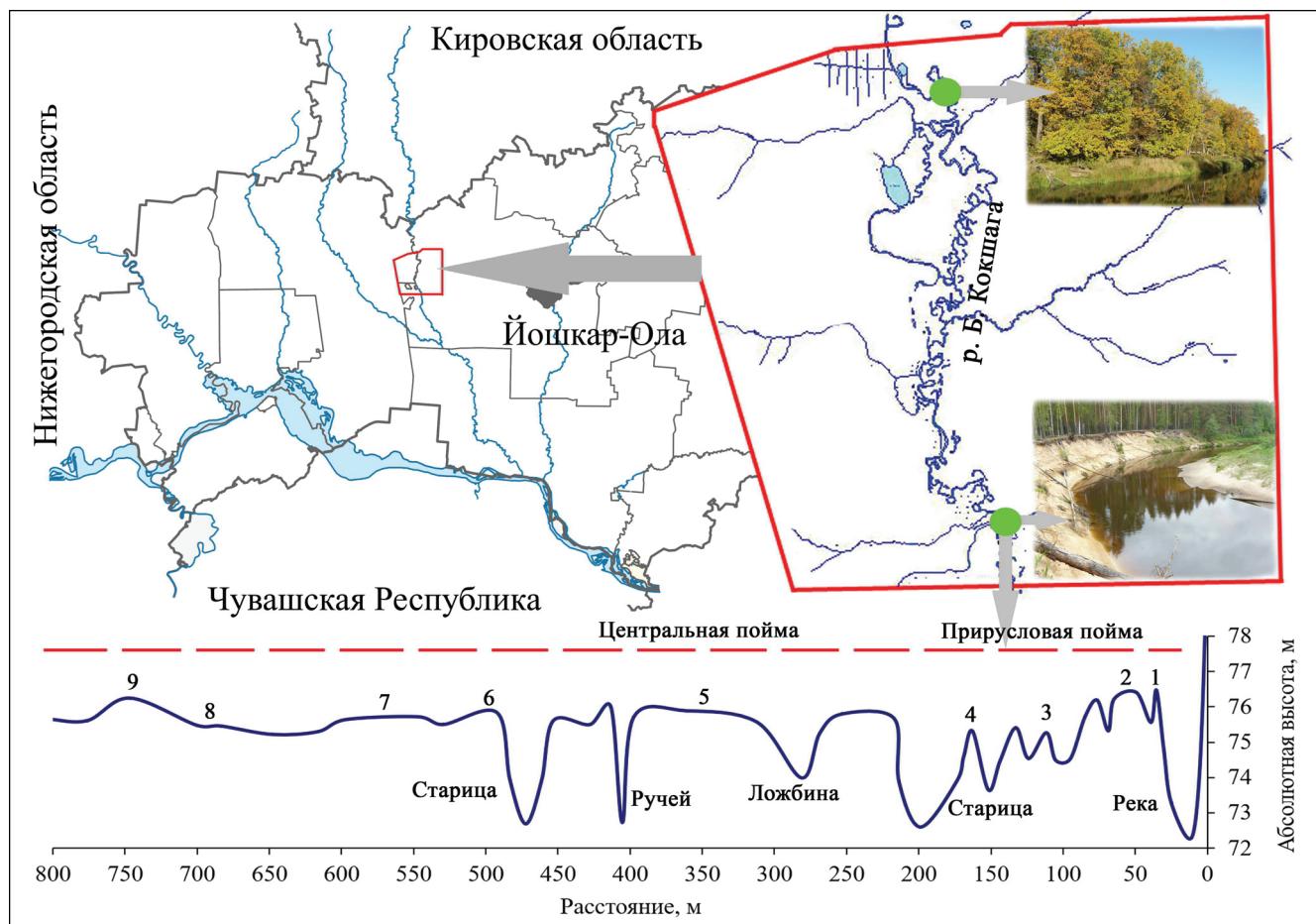


Рис. 1. Расположение заповедника «Большая Кокшага» на территории Республики Марий Эл (слева) с указанием мест сбора аллювиальных отложений (справа), выделенных кругами. Внизу приведен нивелирный профиль части поймы с номерами ВПП (1–9), где были заложены седиментационные ловушки, пунктирной линией отмечен среднемноголетний уровень половодья. СП – урочище Старый Перевоз

Fig. 1. Location of the Bolshaya Kokshaga Nature Reserve within the territory of the Republic of Mari El (on the left) with alluvial sediment collection sites (on the right) highlighted in circles. Below is a leveling profile of a part of the floodplain with runway numbers (1–9), where sedimentation traps were installed; the dotted line marks the average annual flood level. СП – the Staryi Perevoz

Для выявления геохимической специализации отложений рассчитывали кларк концентрации (КК) и кларк рассеяния (КР) согласно [Перельман, Касимов, 1999] с использованием значений кларков элементов верхней части континентальной земной коры, предложенных в работе [Касимов, Власов, 2015]. Также рассчитывали коэффициент обогащения (Enrichment factor EF) речных наносов относительно почв водо-раздельных пространств $EF = (C_i / C_{ref}) / (C_{i \text{ почва}} / C_{ref \text{ почва}})$,

равный отношению содержания i -го элемента (C_i) к нормирующему элементу (C_{ref}) в аллювии, к отношению их в автономных почвах. Это позволило, во-первых, оценить отличие элементного состава аллювиальных отложений от элементного состава почв, слагающих бассейн среднего течения р. Большой Кокшаги и принимающих участие в их формировании. Такой подход широко применяется на практике [Sutherland, 2000; Zhang, Liu, 2002; Ollivier

et al., 2011 и др.]. Во-вторых, заложить основу для осуществления педогеохимического мониторинга наиболее динамичной трансупераквальной части зандрового ландшафта заповедника. Данные по элементному составу почв взяты из [Демаков, Исаев, 2021]. В качестве нормирующего элемента использовали Al [Zhang, Liu, 2002; Ollivier et al., 2011; Касимов и др., 2025]. Так как общепринятых градаций EF не существует [Касимов и др., 2025], использовали следующую [Lee et al., 1997], в которой отражено как обогащение ($EF > 1$) элементами, так и истощение ($EF < 1$) ими относительно принятого фона. ПДК (ОДК) для валового содержания оценивались по следующим значениям: As 5, Mn 1500, S 160, Zn 100, Ni 40 и Cu 66 мг/кг [СанПиН 1.2.3685-21].

Статистическую обработку данных провели с использованием пакета прикладных программ Excel и Statistica 6.0. Для сравнения содержания элементов в аллювии разных фаций проводили одноФакторный дисперсионный анализ, возможность применения которого проверяли с помощью критерия Левена. Для оценки связи элементов в геохимических ассоциациях, а также с гранулометрическим составом, использовали коэффициент корреляции Спирмена (r_s), для оценки точности модели – коэффициент детерминации (R^2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Масса аллювиальных отложений. В условиях меандрирования масса наносов уменьшается при движении по профилю от русла реки: наибольшее количество наилка поступило на ВПП 1 и 2 – 77,9 и 7,2 т/га соответственно, на ВПП 3 – 543 кг/га, на ВПП 7, 8 и 9 менее 100 кг/га (табл. 1). Эту зависимость описывает следующее уравнение регрессии:

$$Y = 6,26 \exp(-5,826 \cdot 10^{-3} \cdot X) + 4; \quad R^2 = 0,858, \quad (1)$$

где Y – масса аллювия (кг), выраженная в десятичных логарифмах; X – расстояние от русла, м. Количество аллювия, отложенного на участке реки с побочневым типом русловых процессов (СП 1 и 2), сравнительно одинаково и схоже с таковым на ВПП 5 и 6, удаленных от русла реки на 320–430 м. Причина столь резкого различия в массе аллювия связана с изменением морфологических и гидродинамических условий пойменной поверхности. В области прируслового вала, где формируются наибольшие скорости водного потока, наносы поступают в результате поперечных циркуляционных течений, обусловливающих перекатывание частиц по дну или их волочение от размываемого берега к намываемому. По мере удаления от русла реки скорость течения резко замедляется, снижается и транспортирующая способность потока – происходит осаждение взвешенных и влекомых водой частиц.

Данные количественного состава наносов показывают, что в настоящее время они играют существенную роль в формировании почв только в условиях прирусловой части поймы реки на участках меандрирующего русла в зоне прирусловых валов, где почвообразование не успевает прорабатывать поступающие наносы. Здесь формируются дерновые кислые слоистые примитивные почвы. Центральная часть поймы, а в условиях развития побочневого типа русловых процессов и прирусловая ее часть, получают небольшие порции аллювия, что сказывается на строении почвенного профиля, в котором отсутствуют признаки слоистости [Исаев, 2008]. Низкая активность процессов аккумуляции аллювия свидетельствует об отсутствии нарушений эрозионно-аккумулятивного баланса речного бассейна реки, которые могут быть вызваны изменением естественного состояния ландшафта [Лазаренко, 1964; Перевоцников, 2007; Голосов, 2009]. В этом случае можно говорить о перстративной фазе аккумуляции, что является выражением равновесного состояния продольного профиля реки, при котором не происходит ни врезания русла на глубину, ни прогрессирующего заполнения долины аллювием.

Гранулометрический состав аллювиальных отложений имеет хорошо выраженную латеральную дифференциацию в направлении от русла реки вглубь поймы, изменяясь от связного песка (ВПП 1) до среднего суглинка (ВПП 5, 6). В этом направлении снижается и степень отсортированности наносов (табл. 2). Особенно четко это прослеживается на примере снижения доли фракции мелкого песка, процентное содержание которой, согласно Б.Н. Польско-му [1958], характеризует напряженность гидродинамических процессов в половодье: чем больше этой фракции, тем больше их напряженность. В условиях меандрирования на ВПП 1 доминирует мелкопесчаная фракция, на удалении 25 м от русла – крупнопылеватая. В условиях побочневого типа русловых процессов (СП 1 и 2) доминирует фракция крупной пыли, что свидетельствует о низкой напряженности эрозионно-аккумулятивных процессов.

Установлено, что на протяжении шести лет на ВПП 1 и 2 гидродинамические характеристики потока способствовали отложению однородного по гранулометрическому составу аллювия. Так, на ВПП 1 величина коэффициента вариации содержания доминирующей фракции песка составила 3,7%, а на ВПП 2 – доминирующей фракции пыли – 3,9%. При удалении от русла реки возрастает дифференциация гранулометрического состава отложений: коэффициент вариации содержания доминирующих частиц пыли изменяется от 4,7 до 33,1%, что может быть вызвано наличием стариц и ручьев, выполняющих роль второстепенных русел.

Таблица 1

Распределение массы аллювия по поперечнику поймы

Год	Масса собранного аллювия на временных пробных площадях, кг/га										
	ВПП 1	ВПП 2	ВПП 3	ВПП 4	ВПП 5	ВПП 6	ВПП 7	ВПП 8	ВПП 9	СП 1	СП 2
	Расстояние от русла реки, м										
	7	25	70	140	320	430	570	650	750	10	60
2017	116 685	10 146	1360	1236	—*	—	—	—	—	—	—
2018	31 933	13 225	421	725	640	404	73	31	17	155	237
2019	51 966	5348	КБ	КБ	КБ	135	22	20	19	271	364
2021	199 202	7222	209	1161	190	364	110	103	121	336	395
2022	24 787	3027	0	364	68	0	0	0	0	140	182
2023	42 642	4420	182	739	102	17	45	19	11	215	273
В среднем	77 869	7231	543	845	250	230	63	43	42	223	283

Примечание: * – седиментационные ловушки не устанавливались; КБ – ловушки уничтожены кабанами; здесь и далее ВПП – временная пробная площадь, СП – Старый Перевоз.

Таблица 2

Гранулометрический состав аллювиальных отложений

№ ВПП (объем выборки)	Усредненное содержание частиц разного размера, %						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
ВВП 1 (6)	6,8	74,3	10,5	2,3	5,3	0,9	8,5
ВПП 2 (6)	0,9	29,2	40,9	9,4	17,3	2,3	29,0
ВПП 3 (2)	3,2	59,7	19,7	3,7	13,1	0,7	17,5
ВВП 4 (3)	2,4	32,4	37,4	9,8	16,2	1,8	27,8
ВВП 5 (3)	1,3	24,9	42,1	11,1	18,6	2,0	31,7
ВВП 6 (2)	1,5	22,8	39,1	11,0	23,0	2,8	36,7
СП 1 (1)	0,4	14,0	59,4	10,0	14,5	1,7	26,2
СП 2 (3)	1,6	24,3	45,3	10,7	16,4	1,6	28,8

Примечание: анализ гранулометрического состава аллювия на ВПП 7–9 не был проведен из-за малого его количества, собранного седиментационными ловушками.

Валовой состав и фациальная структура. В аллювиальных отложениях установлено содержание 27 химических элементов, но наиболее распространенными являются 20. Cl, V, Pb, Br, Nb, Ga и Y встречаются в единичных образцах и нами не рассматриваются. Пределы содержания элементов, а также величины ППП в аллювии очень велики. Ранговый ряд элементов, присутствующих во всех образцах, по величине коэффициента вариации (нижний индекс) имеет следующий вид: $K_{35} < < Cr_{45} < Al_{45} < Ti_{46} < Ca_{47} < Si_{49} < S_{51} < Fe_{53} < Mg_{54} < Sr_{69} < < Zn_{79} < Mn_{108}$. Высокие значения коэффициента вариации свидетельствуют о наличии различных фациальных обстановок, визуализируемых с помощью кластерного анализа (рис. 2). Опираясь на схему фациального расчленения современного аллювия А.А. Лазаренко [1964], можно сказать, что

первый кластер (ВПП 1–4) представлен аллювием фации прирусловых валов, который содержит большее количество Si, Na, Zr, Sr и Cr; второй (ВПП 5 и 6, СП 1 и 2) – приречной поймы – Fe, Al, K, Mg и Ti; третий (ВПП 7–9) – внутренней поймы – Ca, Mn, P, S, Ba, Zn, Ni, Cu и As (табл. 3). Различия по содержанию большинства элементов достоверны ($p < 0,05$). Значительное участие в отложениях внутренней поймы органических остатков, формирующих оторфованный аллювий с величиной ППП 64,8%, способствовало и большему накоплению в нем биофильтных элементов, многие из которых, как будет показано ниже, тесно связаны с величиной ППП. В органоминеральных отложениях накапливается больше литофильтных элементов. Таким образом, аллювий каждой фации характеризуется особой геохимической сигнатурой.

Таблица 3

Элементный состав аллювия различной фациальной приуроченности

Элемент, размерность	Значения статистических показателей содержания элементов в аллювии различных фаций					
	Прирусовых валов		Приречной поймы		Внутренней поймы	
	<i>n</i>	$M_x \pm m_x$	<i>n</i>	$M_x \pm m_x$	<i>n</i>	$M_x \pm m_x$
ППП, %*	21	13,3±1,9	18	32,8±1,7	12	64,8±2,6
Si, г/кг*	21	315,7±11,6	18	186,9±10,5	12	80,6±10,8
Fe, г/кг*	21	33,6±3,3	18	74,7±8,2	12	49,7±5,5
Al, г/кг*	21	43,5±2,7	18	45,8±2,1	12	13,8±2,1
Ca, г/кг*	21	10,4±0,7	18	16,2±0,9	12	23,9±2,3
K, г/кг*	21	12,7±0,8	18	13,3±0,7	12	7,3±0,7
Mg, г/кг*	21	6,7±0,6	18	7,3±0,7	12	2,2±0,3
Mn, г/кг*	21	1,6±0,2	18	6,6±0,8	12	12,1±2,4
Na, г/кг	18	4,9±0,5	8	2,7±0,4	0	—
P, г/кг*	17	1,6±0,3	18	2,3±0,5	12	4,2±0,5
Ti, г/кг*	21	3,1±0,3	18	4,0±0,3	12	1,6±0,2
S, г/кг*	21	1,1±0,1	18	1,5±0,1	12	2,8±0,1
Ba, мг/кг*	9	479,5±66,9	7	780,2±88,9	8	990,0±85,6
Zr, мг/кг*	19	375,9±40,0	11	154,1±37,5	3	13,0±4,3
Zn, мг/кг*	20	131,2±16,3	18	232,0±45,4	12	309,4±66,5
Sr, мг/кг	21	172,1±22,6	18	139,5±32,6	12	161,8±39,1
Cr, мг/кг*	21	142,6±10,7	18	138,1±13,9	10	61,1±5,9
Ni, мг/кг	16	54,2±4,8	18	86,9±11,3	9	110,5±52,9
Cu, мг/кг	15	54,1±5,5	11	59,1±8,9	12	103,8±24,5
Rb, мг/кг	18	45,5±4,6	10	51,2±10,9	8	51,7±9,7
As, мг/кг*	7	18,2±3,3	7	31,4±6,7	6	37,3±4,4

Примечание: * – различия по содержанию этих элементов между фациями достоверны при $p < 0,05$; n – объем выборки; $M_x \pm m_x$ – среднее значение и ошибка среднего.

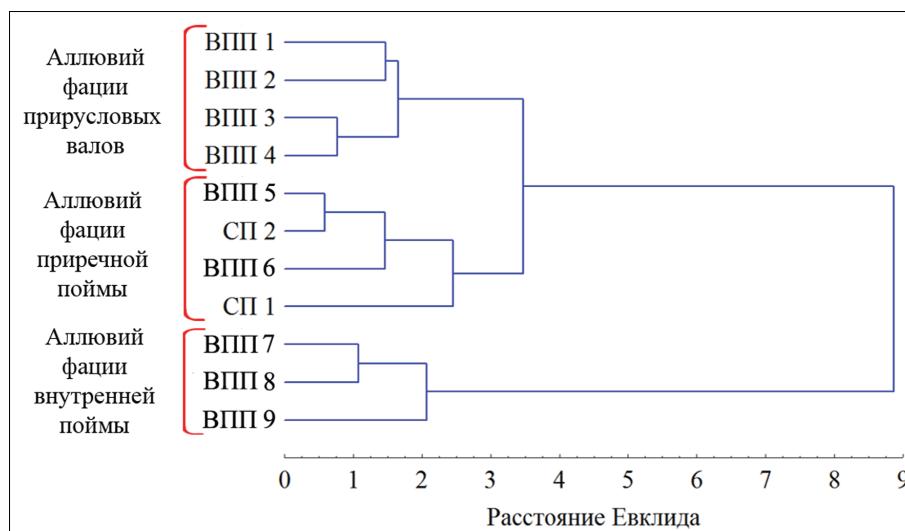


Рис. 2. Дендрограмма сходства временных пробных площадей по элементному составу аллювия, построенная способом Варда по матрице нормированных данных

Fig. 2. A dendrogram of the similarity of time trial areas in terms of the elemental composition of alluvium, compiled by the Ward method using a matrix of normalized data

Тип руслового процесса оказывает значительное влияние на формирование элементного состава аллювия, о чем свидетельствуют результаты кластерного анализа (см. рис. 2). Так, СП 1 и СП 2, заложенные в условиях побочневого типа русловых процессов, по содержанию химических элементов входят во второй кластер, т. е. с участками, расположеными на значительном удалении от уреза воды в условиях меандрирования. На этих абсолютно разных по геоморфологическим условиям участках поймы формируются одинаковые геохимические условия осадконакопления.

Геохимические ассоциации элементов. Результаты группировки химических элементов по степени геохимической сопряженности (кластерный и корреляционный анализ) показали наличие шести ассоциаций: Fe – Ca – Mn – S – P – Ba – Zn,

Al – K – Mg – Ti – Cr, Si – Na – Zr, Fe – Mn – Ni – As, P – Cu и Sr – Rb (Cu, Rb и As не вошли в кластерный анализ из-за невысокой представленности) (рис. 3А). Функциональная зависимость между элементами в каждой из них отображается уравнением вида $Y = a \times X + b$, параметры которого представлены в табл. 4. Необходимо указать на некоторые особенности: Fe входит в один кластер с величиной ППП при неоднозначном характере связи по фациям: для прирусовых валов и приречной поймы она положительная, а для внутренней поймы – отсутствует. В то же время Fe выступает как фаза-носитель Ni и As, не связанных с величиной ППП, а также Mn, содержание которого детерминировано еще и величиной ППП, что говорит о двойственной природе нахождения Fe и Mn в аллювии.

Таблица 4

Значения параметров функции ($Y = a \cdot X + b$), описывающей влияние различных фаз-носителей на содержание химических элементов, и значения коэффициентов корреляции Спирмена

Фаза-носитель (Y)	Элемент (X)	Параметр уравнения		Значение R^2	r_s
		a	b		
ППП	Fe*	1,57	16,5	0,45	0,46
	Ca	0,22	7,81	0,75	0,90
	Mn	0,20	0,58	0,54	0,83
	S	0,03	0,60	0,77	0,85
	Ba	8,85	395,6	0,44	0,68
	P	0,05	0,79	0,45	0,69
	Zn	2,10	99,4	0,35	0,59
Al	K	0,17	5,28	0,51	0,75
	Mg	0,17	-0,35	0,80	0,89
	Ti	0,06	0,92	0,48	0,70
	Cr	1,75	50,5	0,40	0,58
Si	Na	0,02	-0,46	0,45	0,67
	Zr	1,40	82,1	0,35	0,63
Fe	Mn	0,08	-0,39	0,75	0,79
	Ni	0,78	29,6	0,47	0,57
	As	0,47	1,01	0,59	0,63
P	Cu	14,9	24,3	0,43	0,60
Sr	Rb	0,18	21,0	0,50	0,77

Примечание: содержание Na, Mn, K, Mg, Ti, P, S и Ca выражено в г/кг, остальных элементов – в мг/кг. *Связь содержания Fe с величиной ППП установлена для фации прирусовых валов и приречной поймы. Значения r_s достоверны при $p < 0,05$.

Помимо выделенных ассоциаций необходимо указать на связь содержания Al, K, Mg, Ti и Cr с Si ($r_s = 0,48$, $p < 0,001$), отображаемую следующим уравнением:

$$Al = 12 \cdot 10^{-3} (467 - Si)^{2,02} \exp \{-11,8 \cdot 10^{-3} (467 - Si)\}; \\ R^2 = 0,594. \quad (2)$$

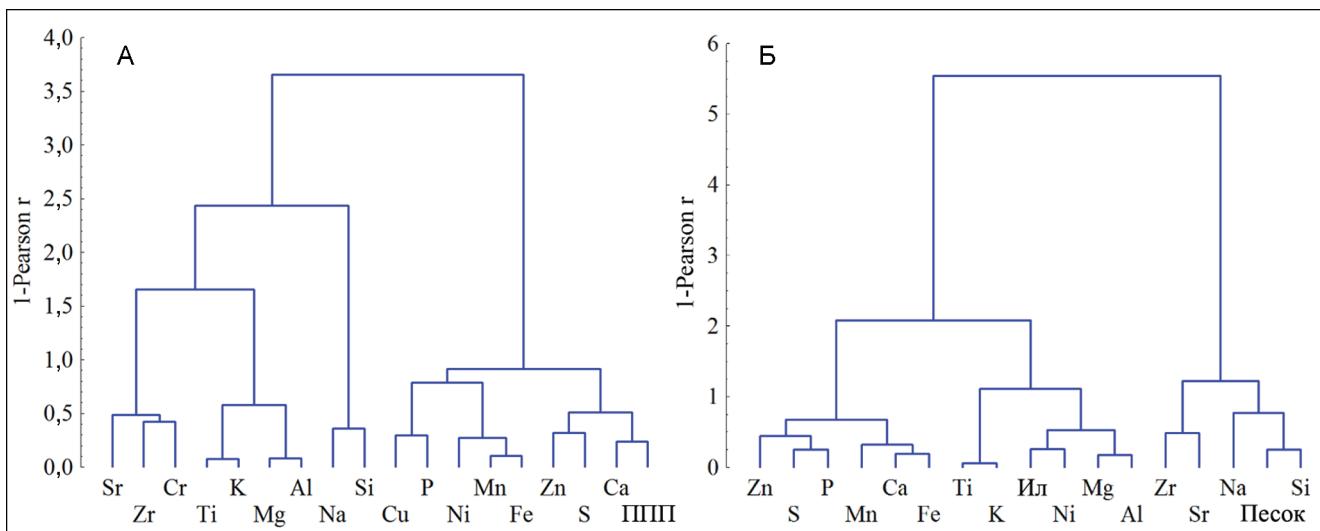


Рис. 3. Дендрограммы сходства содержания химических элементов и величины ППП в аллювии (А) и содержания химических элементов с гранулометрическим составом (Б), построенные способом Варда

Fig. 3. Dendograms of the similarity of the content of chemical elements and the value of ignition loss for alluvium (A) and the content of chemical elements with a granulometric composition (B), compiled by the Ward method

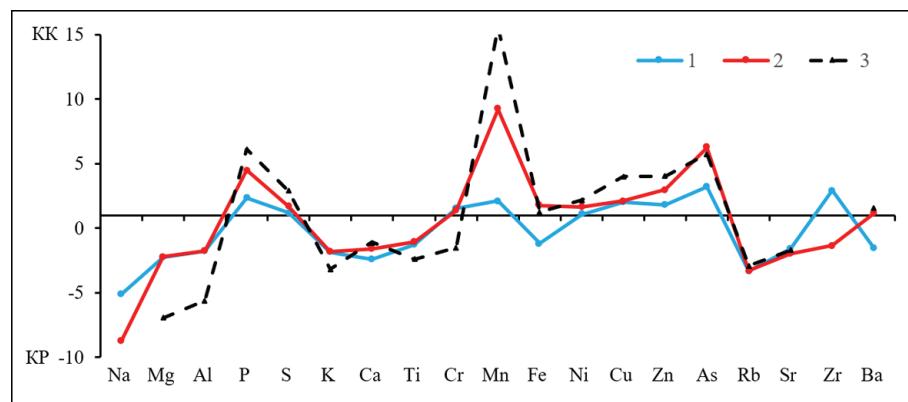


Рис. 4. Геохимический спектр содержания элементов в аллювии различных фаций:
1 – прирусловой; 2 – приречной поймы; 3 – внутренней поймы

Fig. 4. The geochemical spectrum of the content of elements in the alluvium of various facies:
1 – near-channel; 2 – riverine floodplain; 3 – inner floodplain

Точка перегиба куполообразной кривой приходится на величину содержания Si 250 г/кг, т. е. для аллювия фации приречной и внутренней поймы связь содержания Al, K, Mg, Ti и Cr с Si прямая, а для аллювия фации прирусловых валов – обратная. Важно отметить, что подобный характер связи установлен для аллювиальных почв р. Большой Кокшаги [Исаев и др., 2024]: для перегнойно-глеевых и иловато-торфяных почв связь Al, K, Mg, Ti и Cr с Si – прямая, а для дерновых – обратная. Раскрыты возможные причины такого взаимодействия.

Формирование ассоциаций в определенной степени сопряжено с гранулометрическим составом отложений (см. рис. 3Б, табл. 5). Так, Si, Na, Sr и Zr поступают в составе песчаной фракции ($r_s > 0,48$, $p < 0,05$), Al, K, Mg, Ti и Ni – в составе илистой

($r_s > 0,41$, $p < 0,05$), а Fe, Ca, Mn, S, P, Ba и Zn – преимущественно в составе пылеватой ($r_s > 0,43$, $p < 0,05$). Содержание Cr, Cu, As и Rb не связано ($p > 0,05$) с гранулометрическим составом, хотя Cu и Rb тяготеют к илистой фракции.

В аллювии и аллювиальных почвах установлены следующие общие геохимические семейства: Al – K – Mg – Ti – Cr, Si – Na – Zr, Fe – Mn – Ni – As [Исаев и др., 2024]. В почвах, в отличие от аллювия, Cu и Sr выступают как биофильные, а P, Ba и Zn – как сидерофильные элементы. Таким образом, роль Al и Si (как фазы-носителя) в парагенетическом ряду «аллювий – аллювиальные почвы» не меняется, а Fe в окислительно-восстановительных условиях пойм приобретает новую функцию – становится типоморфным [Исаев и др., 2024].

Таблица 5

Коэффициенты корреляции Спирмена (r_s) содержания химических элементов с гранулометрическим составом в аллювии

Кластер	Элемент	Фракции гранулометрического состава		
		Песок	Пыль	Ил
1	Si	0,81	-0,81	-0,52
	Sr	0,48	-0,50	-0,14
	Zr	0,62	-0,63	-0,09
	Na	0,48	-0,46	-0,14
2	Al	-0,29	0,29	0,60
	K	-0,20	0,19	0,41
	Mg	-0,41	0,41	0,52
	Ti	-0,33	0,32	0,42
	Ni	-0,47	0,45	0,58
3	Fe	-0,76	0,74	0,64
	Ca	-0,73	0,72	0,50
	P	-0,61	0,60	0,51
	Mn	-0,78	0,78	0,46
	S	-0,77	0,77	0,49
	Ba	-0,59	0,58	0,30
	Zn	-0,45	0,43	0,37
Не вошли в кластеры	Cu	-0,20	0,19	0,37
	Rb	0,07	-0,10	0,33
	Cr	0,16	-0,17	0,15
	As	-0,18	0,18	0,01

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, достоверные при $p < 0,05$.

Геохимическая специфика аллювия. Геохимические спектры (рис. 4) показали, что по сравнению с кларком верхней части континентальной земной коры отложения обеднены: Ti (КР 1,1–2,4), Sr (КР 1,6–2,0), Al (КР 1,8–5,6), K (КР 1,8–3,2), Mg (КР 2,2–7,0), Ca (КР 1,1–2,4), Rb (КР 2,9–3,3) и Na (КР 5,1–8,8). Превышение кларка отмечается по Mn (КК 2,0–18,9), P (КК 2,7–7,2), As (КК 3,2–6,3), Cu (КК 2,2–5,4), Ni (КК 1,7–2,2), Zn (КК 1,8–4,6), S (КК 1,7–2,9) и Zr (КК 2,9). Содержание Cr, Fe и Ba близко к кларковому. Выявленные геохимические аномалии в аллювии являются природными (естественно обусловленными) особенностями территории среднего течения р. Большой Кокшаги. Необходимо отметить, что геохимические спектры аллювиальных отложений схожи с таковыми для аллювиальных почв: в дерновых отмечается превышение КК по Zr, As, Cu и Cr, а в аллювиальных луговых – по P, Ni, Cr, Fe, Zn, Ba и Zr [Isaev et al., 2023]. Это свидетельствует об однотипности геохимических обстановок, в которых они формируются.

Какими причинами может быть обусловлено формирование геохимических аномалий содержа-

ния различных элементов в аллювиальных отложениях? Известно, что они образуются в процессе геохимической дифференциации рыхлых отложений и наследуют характерные черты микроэлементного состава исходных пород, что отражается в провинциальных особенностях их состава [Добровольский, 2005]. Территория заповедника расположена в восточной части Центрально-Русской минералого-геохимической провинции Восточно-Европейской равнины на стыке с Приуральской [Добровольский, 2007]. Здесь сказывается влияние Уральской области сноса и кислых пород Балтийского щита. В результате аллювиальные отложения наследуют состав химических элементов, характерный для двух провинций. Четвертичные отложения Приуралья отличаются повышенным количеством Cu, Cr, Zn и Ni, которые характерны для основных пород Урала, в то же время они содержат меньше Zr, характерного для кислых пород Балтийского щита [Добровольский, 2007]. Превышение кларка по As, Mn, P и Fe обусловлено их интенсивной миграцией с водораздельных пространств полесья. В гумидных ландшафтах кислого класса эти элементы мигриру-

ют и накапливаются на оксидно-железистом геохимическом барьере пойменных почв путем сорбции с последующим окислением [Перельман, Касимов, 1999]. Источником этих элементов также могут выступать покровные суглинки Кировской области [Колеватых, 2010].

Сравним элементный состав отложений с таким у почв элювиальных ландшафтов (локальный фон), участвующих в их формировании. Результаты расчета коэффициентов обогащения (*EF*) установили значительные их величины по большинству элементов за исключением $Si_{0,2-0,3}$, $Na_{0,4-0,9}$, и $Zr_{0,1-0,8}$ (нижний индекс – значение *EF*) в аллювии всех фаций, $Cr_{0,7}$ и $Cu_{0,6}$ в фации прирусловых валов и приречной поймы, а также $Ni_{0,7}$ в фации прирусловых валов и $Mg_{0,7}$ – внутренней поймы (табл. 6). Обогащение аллювия элементами обусловлено биогенным, литогенным и хемогенным факторами. Первый обеспечивает накопление $Mn_{2,8-66}$, $Fe_{1,9-11}$,

$Ca_{3,9-16}$, $Zn_{2,4-21}$, $S_{2,3-16}$ и $P_{1,7-7,5}$, которые, как отмечено выше, связаны с органическим веществом. С увеличением ППП от аллювия фации прирусловых валов к фации внутренней поймы *EF* этих элементов возрастает. Второй – $K_{1,2-9,9}$, $Mg_{1,7-1,8}$ и $Ti_{1,3-1,6}$, формирующих единое геохимическое семейство с Al , обусловлен увеличением тонкодисперсных частиц от аллювия фации прирусловых валов к фации приречной поймы (см. табл. 2). Источником глинистого материала являются покровные суглинки и глины верховий р. Большой Кокшаги, которые в результате эрозионно-аккумулятивной деятельности внедряются все глубже в пределы Марийского Полесья с Ярано-Кокшагской равнины. Третий – $Ni_{3,6}$, обусловлен его связью с Fe , а $Cu_{5,5}$ – с P . Обогащение $Sr_{1,2-6,5}$ остается невыясненным, он не связан ни с величиной ППП, ни с Al , ни с Fe . В почвах элювиальных ландшафтов Ba , Rb и As не обнаружены, поэтому в расчетах не использовались.

Таблица 6

Коэффициенты обогащения элементами аллювиальных отложений относительно автономных почв Марийского Полесья

Аллювий фации	Величина коэффициента обогащения (<i>EF</i>)	
	>1,0	<1,0
Прирусловых валов	$Ca_{3,9}$, $Mn_{2,8}$, $Zn_{2,4}$, $S_{2,3}$, $Fe_{1,9}$, $Mg_{1,7}$, $P_{1,7}$, $Sr_{1,6}$, $Ti_{1,3}$, $K_{1,2}$	$Na_{0,9}$, $Zr_{0,8}$, $Ni_{0,7}$, $Cr_{0,7}$, $Cu_{0,6}$, $Si_{0,3}$
Приречной поймы	$Mn_{8,5}$, $Ca_{5,7}$, $Fe_{3,8}$, $S_{3,6}$, $Zn_{3,4}$, P_{3} , $Mg_{1,8}$, $Ti_{1,6}$, $K_{1,2}$, $Sr_{1,2}$, $Ni_{1,1}$	$Cr_{0,7}$, $Cu_{0,6}$, $Na_{0,4}$, $Zr_{0,3}$, $Si_{0,2}$
Внутренней поймы	Mn_{66} , Zn_{21} , S_{16} , Ca_{16} , Fe_{11} , $K_{9,9}$, $P_{7,5}$, $Sr_{6,5}$, $Cu_{5,5}$, $Ni_{3,6}$, $Ti_{1,5}$, $Cr_{1,2}$	$Mg_{0,7}$, $Si_{0,3}$, $Zr_{0,1}$

Оценим, как сочетаются полученные значения содержания элементов в аллювиальных отложениях заповедника, удаленного на значительные расстояния от источников загрязнения, с существующими нормативами: ПДК и ОДК [СанПиН 1.2.3685-21, 2021], чтобы показать значение природной составляющей локального геохимического распределения элементов. Сравнение содержания элементов в аллювии разной фациальной приуроченности с ПДК и ОДК показало превышение по S от 7,1 до 17 раз; Mn – от 4,7 до 8,1; As – от 3,2 до 6,3; Ni – от 1,3 до 2,8; Cu – в 1,6, а Zn – в 1,4 раза. Таким образом, складывается преувеличенное представление о загрязненности современных аллювиальных отложений фоновой территории, что свидетельствует о необходимости установления фоновых концентраций химических элементов на локальном и региональном уровнях для адекватной оценки возможной степени загрязненности почв.

ВЫВОДЫ

Результаты исследований показали низкую активность процессов аккумуляции аллювия (перстративная фаза) в пойме р. Большой Кокшаги, что говорит об отсутствии нарушений эрозионно-аккумулятивного баланса речного бассейна. Наибольшее количество аллювия на меандрирующих участках русла концентрируется на расстоянии 7–10 м от уреза воды – от 32 до 200 т/га, на расстоянии 25 м – 7,2 т/га, 70 м – 543 кг/га, более 500 м – редко превышает 100 кг/га. При побочневом типе русловых процессов масса аллювия в пределах прирусловой части поймы сопоставима с массой аллювия, отложенного в центральной в условиях меандрирования.

Установлена хорошо выраженная латеральная дифференциация пойменных отложений, характеризующаяся закономерным изменением гранулометрического состава от связного песка (фация прирусловых валов) до среднего суглинка (фация

приречной поймы), в этом же направлении снижается степень отсортированности наносов.

Определено, что формирование фациальной структуры аллювия, а также геохимических ассоциаций элементов обусловлено наличием органического вещества и гранулометрическим составом. Так, в наносах фации прирусловых валов, в которых доминирует минеральная матрица (фракция песка), преобладают Si, Na, Zr, образующие единое геохимическое семейство. Фация приречной поймы отличается наибольшим накоплением Al, K, Mg и Ti, которые связаны с содержанием иллистых частиц. В наносах внутренней поймы активное участие торфяных отложений обусловливает закономерное увеличение в них биогенных элементов Ca, P, Mn, S, Cu, Zn и Ba, образующих одну геохимическую ассоциацию. Fe показывает двойственную природу нахождения: с одной стороны оно связано с величиной ППП, с другой – выступает в роли фазы-носителя Mn, Ni и As.

Интегральный анализ состава аллювиальных отложений позволяет сделать заключение об их

близости к Центрально-Русской и Приуральской минералого-геохимическим провинциям, которые можно рассматривать в качестве основных источников привноса вещественного материала с природными водами.

Современные аллювиальные отложения обогащены ($EF > 1$) относительно автономных почв зандрового ландшафта Марийского Полесья Fe, Ca, P, Mn, S и Zn (биогенный фактор поступления), K, Mg и Ti (литогенный), а также Ni и Cu (хемогенный). По значениям кларков верхней части континентальной земной коры определено накопление ($KK > 1,5$) Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S и Zr и рассеивание ($KP > 1,5$) Al, K, Mg, Ca, Na, Rb, Ti и Sr; близки к величине кларка Fe, Ba и Cr. Аллювий содержит концентрации элементов, превышающие гигиенические нормативы (ПДК и ОДК) по S, Mn, As, Cu, Ni и Zn. Выявленные геохимические аномалии являются природными (естественно обусловленными) особенностями территории среднего течения р. Большой Кокшаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воробьев А.Ю., Кривцов В.А., Кадыров А.С. Современная динамика накопления и состав аллювия прирусловой поймы реки Оки // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естественные науки. 2021. Т. 163. Кн. 4. С. 603–625. DOI: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625.

Голосов В.Н. Исследования аккумуляции наносов на речных поймах: методические возможности и перспективы // Геоморфология. 2009. № 4. С. 39–44.

ГОСТ 23740–2016. Грунты. Методы определения содержания органических веществ. М.: Стандартинформ, 2017. 12 с.

Демаков Ю.П., Исаев А.В. Элементный состав песчаных почв лесных биогеоценозов Марийского Заволжья // Вестн. Поволжского гос. технологического ун-та. Сер: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 4(52). С. 54–69. DOI: 10.25686/2306-2827.2021.4.54.

Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 293 с.

Добровольский В.В. Гипергенез и коры выветривания. Избр. тр. М.: Научный мир, 2007. Т. I. 512 с.

Исаев А.В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага»). Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2008. 240 с.

Исаев А.В., Демаков Ю.П., Шарафутдинов Р.Н. и др. Геохимические особенности аллювиальных почв среднего течения р. Большая Кокшага // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2024. № 5. С. 27–39. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.3

Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 2. С. 7–17.

Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Поповичева О.Б. и др. Эко-геохимия микрочастиц в окружающей среде // Вестн.

Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2025. № 1. С. 3–23. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.1

Колеватых Е.А. К вопросу о генезисе и геохимии покровных суглинков Вятско-Камского Предуралья // Литосфера. 2010. № 6. С. 55–65.

Кривцов В.А., Воробьев А.Ю., Пузаков С.В. Применение метода ковриков-ловушек для определения динамики накопления современного аллювия на рязанском участке среднего течения р. Оки // Вестн. Волгоградского гос. ун-та. Сер. 11: Естественные науки. 2015. № 4(14). С. 30–39. DOI: 10.15688/jvolsu11.2015.4.4.

Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны и Оки). М.: Наука, 1964. 236 с.

Перевоцников А.А. Вопросы происхождения и диагностические признаки антропогенно обусловленного пойменного аллювия (наилка) // Вестн. Удмуртского ун-та. Науки о земле. 2007. № 11. С. 111–121.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея-2000, 1999. 768 с.

Польский Б.Н. Механический состав пойменных почв в связи с историей формирования пойм // Почвоведение. 1958. № 7. С. 112–116.

Смирнов В.Н. Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения. Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1968. 532 с.

Тюлин В.В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отд., 1976. 288 с.

Шанцер Е.В. Очерки учения о генетических типах континентальных осадочных образований. Труды. Вып. 161. М.: Наука, 1966. 242 с.

Янин Е.П. Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава). М.: ИМГРЭ, 2002. 139 с.

Chougong D.T., Ngueutchoua G., Dicka E.H. et al. Distributions of Trace Metals and Radionuclides Contamination in Alluvial Sediments from the Lobé River in Cameroon, *Earth Systems and Environment*, 2021, p. 1–20, DOI: 10.1007/s41748-021-00251-4.

Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B. et al. Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review, *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407, no. 13, p. 3972–3985, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.025.

Ibragimow A., Glosińska G., Siepak M. et al. Heavy metals in fluvial sediments of the Odra River flood plains – introductory research, *Quaestiones Geographicae*, 2010, vol. 29, no. 1, p. 37–47, DOI: 10.2478/v10117-010-0004-7.

Isaev A.V., Demakov Y.P., Sharafutdinov R.N. Specific Features of the Elemental Composition of Alluvial Soils in the Middle Reaches of the Bolshaya Kokshaga River, *Eurasian Soil Science*, 2023, vol. 56, no. 7, p. 868–878, DOI: 10.1134/S1064229323600653.

Lee P.-K., Touray J.-C., Baillif P. et al. Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France, *Sci. Total Environ.*, 201, 1997, p. 1–15, DOI: 10.1016/S0048-9697(97)84048-X.

Nguyen N.H. *Sediment dynamics in the floodplain of the Mekong Delta, Vietnam*, Stuttgart, Inst. für Wasserbau, 2011, 149 p.

Ollivier P., Radakovitch O., Hamelin B. Major and trace element partition and fluxes in the Rhône River, *Chemical Geology*, 2011, 285, p. 15–31.

Sutherland R. Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream, Oahu, Hawaii, *Environmental Geology*, 2000, vol. 39, p. 611–627, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050473>.

Wang L., Cuthbertson A.J.S., Pender G. et al. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs, *International Journal of Sediment Research*, 2015, vol. 30, p. 306–320, DOI: 10.1016/j.ijsc.2015.03.010.

Zhang J., Liu C.L. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China –Weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54, p. 1051–1070, DOI: 10.1006/ecss.2001.0879.

Электронный источник

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М., 2021. 988 с. URL: https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf (дата обращения 12.02.2024).

Поступила в редакцию 11.12.2024

После доработки 05.06.2025

Принята к публикации 28.08.2025

LITHOLOGICAL AND GEOCHEMICAL DESCRIPTION OF MODERN ALLUVIAL DEPOSITS IN THE MIDDLE REACHES OF THE BOLSHAYA KOKSHAGA RIVER

A.V. Isaev¹, R.N. Sharafutdinov², G.A. Bogdanov³

^{1,3} State Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”, Scientific Department

² Naberezhnye Chelny Institute of the Kazan (Volga Region) Federal University

¹ Mari State University, Institute of Natural Sciences and Pharmacy,

¹ Deputy Director for Science, Ph.D. in Agriculture; e-mail: avsacha@yandex.ru

² Department of Chemistry and Ecology, Associate Professor, Ph.D. in Biology; e-mail: sharafrn@yandex.ru

³ Senior Scientific Researcher; e-mail: gpzbk@bk.ru

The paper presents the results of studying the granulometric and elemental composition of modern alluvial deposits in the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga River. It was demonstrated that their role in the formation of soils is significant only in the meandering sections of the riverbed in the immediate vicinity of the water edge (7–10 m), where the mass of material deposited on the riverbed ranges from 32 to 200 t/ha over the years. It decreases to 7.2 t/ha at a distance of 25 m, and rarely exceeds 100 kg/ha at a distance of 500 m. Under the side bar type of riverbed processes, the mass of alluvium in the riverine part of the floodplain is no more than 400 kg/ha. The chemical composition of alluvium reflects the influence of two mineralogical and geochemical provinces (Central Russian and Pre-Urals). It was found that alluvium of the facies of riverine ridges contains a greater amount of Si, Na, Zr, Sr, and Cr; the riverine floodplain alluvium contains more Al, Fe, K, Mg, Ti, and As, while the inner floodplain alluvium contains more Ca, P, Mn, S, Ni, Cu, Zn, Ba, and Rb. Six geochemical associations have been identified in alluvial deposits, i. e. Fe–Ca–Mn–S–P–Ba–Zn, Al–K–Mg–Ti–Cr, Si–Na–Zr, Fe–Mn–Ni–As, P–Cu, and Sr–Rb. The intake of Si, Na, Sr, and Zr is associated with the sand fraction; Al, K, Mg, Ti, and Ni come from the silty fraction, and Fe, Ca, P, Mn, S, Ba, and Zn are derived from the dusty fraction. Relative to the soils of the eluvial landscape of the Mari Polesie alluvial deposits are enriched (EF > 1) with Fe, Ca, P, Mn, S and Zn (biogenic input factor), Al, K, Mg, Ti and Cr (lithogenic factor),

as well as Ni and Cu (chemogenic factor). They accumulate ($KK > 1,5$) Mn, P, As, Cu, Ni, Zn, S, and Zr, and dissipate ($KP > 1,5$) Al, K, Mg, Ca, Na, Rb, Ti, and Sr; and the values of Fe, Ba, and Cr are close to the Clark ones. The concentration of elements in alluvium are higher than the hygienic standards (MPC and ODC) for S, Mn, As, Cu, Ni and Zn. The content of chemical elements in alluvium could be considered as close to the natural (background) level.

Keywords: Bolshaya Kokshaga Nature Reserve, Fluvisols, chemical elements, clark concentrations, geochemical associations, enrichment factor

REFERENCES

Chougong D.T., Ngueutchoua G., Dicka E.H. et al. Distributions of Trace Metals and Radionuclides Contamination in Alluvial Sediments from the Lobé River in Cameroon, *Earth Systems and Environment*, 2021, p. 1–20. DOI:10.1007/s41748-021-00251-4

Demakov Ju.P., Isaev A.V. Elementnyj sostav peschanyh pochv lesnyh biogeocenozov Marijskogo Zavolzh'ja [Elemental composition of sandy soils of forest biogeocenoses of the Mari Trans-Volga region], *Vestn. Povolzhskogo gos. tehnologicheskogo un-ta, Ser.: Les, Ekologija. Prirodopol'zovanie*, 2021, no. 4(52), p. 54–69, DOI: 10.25686/2306-2827.2021.4.54. (In Russian)

Dobrovolskij G.V. *Pochvy rechnyh pojmov centra Russkoj ravniny* [Soils of river floodplains in the center of the Russian Plain], Moscow, Moscow State Un-t Publ., 2005, 293 p. (In Russian)

Dobrovolskij V.V. *Gipergenez i kory vyvetrivanija* [Hypergenesis and weathering crusts], Izbr. tr. Moscow, Nauchnyj mir Publ., 2007, vol. I, 512 p. (In Russian)

Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B. et al. Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review, *Science of the Total Environment*, 2009, vol. 407, no. 13, p. 3972–3985, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.025.

Golosov V.N. Issledovaniya akkumulacii nanosov na rechnyh pojmah: metodicheskie vozmozhnosti i perspektivy [Studies of sediment accumulation on river floodplains: methodological possibilities and prospects], *Geomorfologija*, 2009, no. 4, p. 39–44. (In Russian)

GOST 23740–2016. *Grunty. Metody opredelenija soderzhanija organiceskikh veshhestv* [State Standard 23740–2016 Soils. Methods for determining the content of organic substances], Moscow, Standartinform Publ., 2017, 12 p. (In Russian)

Ibragimow A., Głosińska G., Siepak M. et al. Heavy metals in fluvial sediments of the Odra River flood plains – introductory research, *Quaestiones Geographicae*, 2010, vol. 29, no. 1, p. 37–47, DOI: 10.2478/v10117-010-0004-7.

Isaev A.V. *Formirovanie pochvennogo i rastitel'nogo pokrova v pojmah rechnyh dolin Marijskogo Poles'ja (na primere territorii zapovednika "Bol'shaja Kokshaga")* [Formation of soil and vegetation cover in floodplains of river valleys of Mari Polesie (case study of the territory of the "Bolshaya Kokshaga" reserve)], Joshkar-Ola, Mari St. Technical Univ. Publ., 2008, 240 p. (In Russian)

Isaev A.V., Demakov Ju.P., Sharafutdinov R.N., Ryzhova L.V. Geohimicheskie osobennosti alluvial'nyh pochv srednego techenija r. Bol'shaja Kokshaga [Geochemical features of alluvial soils of the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga River], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2024, no. 5, p. 27–39, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.79.5.3. (In Russian)

Isaev A.V., Demakov Y.P., Sharafutdinov R.N. Specific Features of the Elemental Composition of Alluvial Soils in the Middle Reaches of the Bolshaya Kokshaga River, *Eurasian Soil Science*, 2023, vol. 56, no. 7, p. 868–878, DOI: 10.1134/S1064229323600653.

Janin E.P. *Ruslovye otlozhenija ravninnyh rek (geohimicheskie osobennosti usloviy formirovaniya i sostava)* [Riverbed sediments of lowland rivers (geochemical features of formation conditions and composition)], Moscow, IMGRJe Publ., 2002, 139 p. (In Russian)

Kacimov H.C., Kosheleva N.E., Popovicheva O.B. et al. Eko-geohimija mikrochastic v okruzhajushhej srede [Ecogeochimistry of microparticles in the environment], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2025, no. 1, p. 3–23, DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.80.1.1. (In Russian)

Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskikh elementov kak etalonnye srovnennija v ekogeohimii [Clarks of chemical elements as reference standards in ecogeochimistry], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2015, no. 2, p. 7–17. (In Russian)

Kolevatyh E.A. K voprosu o genezise i geohimii pokrovnyh suglinkov Vjatsko-Kamskogo Predural'ja [On the genesis and geochemistry of cover loams in the Vyatka-Kama Pre-Urals], *Litosfera*, 2010, no. 6, p. 55–65. (In Russian)

Krivcov V.A., Vorob'ev A.Ju., Puzakov S.V. Primenenie metoda kovrikov-lovushek dlja opredelenija dinamiki nакопления современного аллювия на рязанском участке среднего течения р. Оки [Application of the trap mat method to determine the dynamics of accumulation of modern alluvium in the Ryazan section of the middle course of the Oka River], *Vestn. Volgogradskogo gos. un-ta, Ser. 11: Estestvennye nauki*, 2015, no. 4(14), p. 30–39, DOI 10.15688/jvolsu11.2015.4.4. (In Russian)

Lazarenko A.A. Litologija alluvija ravninnyh rek gumidnoj zony (na primere Dnepra, Desny i Oki) [Lithology of alluvia of lowland rivers in the humid zone (case studies of Dnieper, Desna and Oka rivers)], Moscow, Nauka Publ., 1964, 236 p. (In Russian)

Lee P.-K., Touray J.-C., Baillif P. et al. Heavy metal contamination of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne, France, *Sci Total Environ* 201, 1997, p. 1–15, DOI: 10.1016/S0048-9697(97)84048-X.

Nguyen N.H. *Sediment dynamics in the floodplain of the Mekong Delta, Vietnam*, Stuttgart, Inst. für Wasserbau, 2011, 149 p.

Ollivier P., Radakowitch O., Hamelin B. Major and trace element partition and fluxes in the Rhône River, *Chemical Geology*, 2011, 285, p. 15–31.

Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geohimija landshafta* [Geochemistry of the landscape], Moscow, Astreja-2000 Publ., 1999, 768 p. (In Russian)

Perevoshhikov A.A. Voprosy proishozhdenija i diagnosticheskie priznaki antropogenno obuslovленного pojmenennogo alluvija (nailka) [Questions of origin and diagnostic signs

of anthropogenic floodplain alluvium (warp)], *Vestn. Udmurtskogo un-ta, Nauki o Zemle*, 2007, no. 11, p. 111–121. (In Russian)

Pol'skij B.N. Mehanicheskij sostav pojmennyh pochv v svyazi s istoriej formirovaniya pojma [Mechanical composition of floodplain soils in connection with the history of floodplain formation], *Pochvovedenie*, 1958, no. 7, p. 112–116. (In Russian)

Shancer E.V. *Ocherki uchenija o geneticheskikh tipakh kontinental'nyh osadochnyh obrazovanij* [Essays on the theory of genetic types of continental sedimentary formations], Trudy, Moscow, Nauka Publ., 1966, vyp. 161, 242 p. (In Russian)

Smirnov V.N. *Pochvy Marijskoj ASSR, ih genezis, evoljucija i puti uluchshenija* [Soils of the Mari ASSR, their genesis, evolution and ways of amelioration], Joshkar-Ola, Marijsk. kn. izd-vo Publ., 1968, 532 p. (In Russian)

Sutherland R. Bed Sediment-Associated Trace Metals in an Urban Stream, Oahu, Hawaii, *Environmental Geology*, 2000, vol. 39, p. 611–627, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s002540050473>.

Tjulin V.V. *Pochvy Kirovskoj oblasti* [Soils of the Kirov region]. Kirov: Volgo-Vjatskoe kn. izd-vo, Kirovskoe otd. Publ., 1976, 288 p. (In Russian)

Vorob'ev A.Ju., Krivcov V.A., Kadyrov A.S. Sovremennaja dinamika nakoplenija i sostav alljuvija priruzlovoj pojmy reki Oki [Modern dynamics of accumulation and composition of alluvium in the Oka River floodplain], *Uchen. zap. Kazan. un-ta, Ser. Estestvennye nauki*, 2021, vol. 163, iss. 4, p. 603–625, DOI: 10.26907/2542-064X.2021.4.603-625. (In Russian)

Wang L., Cuthbertson A.J.S., Pender G. et al. Experimental investigations of graded sediment transport under unsteady flow hydrographs, *International Journal of Sediment Research*, 2015, vol. 30, p. 306–320, DOI: 10.1016/j.ijsrc.2015.03.010.

Zhang J., Liu C.L. Riverine Composition and Estuarine Geochemistry of Particulate Metals in China – Weathering Features, Anthropogenic Impact and Chemical Fluxes, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54, p. 1051–1070, DOI: 10.1006/ecss.2001.0879.

Web source
SanPiN 1.2.3685-21 “Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja cheloveka faktorov sredy obitanija” [Sanitary rules and regulations 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans], Moscow, 2021, 988 p. URL: https://ds278-krasnoyarsk-r04.gosweb.gosuslugi.ru/netcat_files/19/8/SP123685_21_0.pdf (access date 12.02.2024). (In Russian)

Received 11.12.2024

Revised 05.06.2025

Accepted 28.08.2025