

УДК 550.4:631.4:502.1(470.343)

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ р. БОЛЬШАЯ КОКШАГА

© 2023 г. А. В. Исаев<sup>а, \*</sup> (ORCID: 0000-0002-3166-7962), Ю. П. Демаков<sup>а, b</sup>, Р. Н. Шарафутдинов<sup>с</sup><sup>а</sup>Государственный природный заповедник “Большая Кокшага”, ул. Воинов-Интернационалистов, 26, Йошкар-Ола, 424038 Россия<sup>б</sup>Поволжский государственный технологический университет, пл. Ленина, 3, Йошкар-Ола, 424000 Россия<sup>с</sup>Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, пр-т Мира, 68/19, Набережные Челны, 423810 Россия

\*e-mail: avsacha@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.12.2022 г.

После доработки 13.03.2023 г.

Принята к публикации 13.03.2023 г.

Оценено содержание химических элементов в аллювиальных почвах среднего течения р. Большая Кокшага, наследующих состав от литологической основы двух минерало-геохимических провинций Центрально-Русской и Приуральской, что позволило установить пределы содержания валовых форм элементов и их фоновые концентрации, заложить основу для ведения мониторинга по контролю за состоянием окружающей среды на территории заповедника “Большая Кокшага”. В аллювиальных почвах и песках береговых отмелей установлено содержание 34 химических элементов, из которых наиболее распространенными являются Si, Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, Ti, Mn, P, S с содержанием >1 г/кг. Концентрации многих элементов достоверно различаются по типам почв, наибольшее сходство выявлено между луговыми и перегнойно-глеевыми. По сравнению с аллювиальными почвами пески береговых отмелей характеризуются максимальным содержанием Si и минимальным всех остальных элементов. Дерновые почвы отличаются наименьшим содержанием элементов, за исключением Si, луговые и перегнойно-глеевые накапливают больше Al, Fe, K, Na, Mg, Ti, Mn, Ba, Cr, Zn, Ni, V и As, иловато-торфяные, представляющие собой высокоминерализованные торфяные залежи, накапливают больше Ca, S, P, Sr, Cl и Rb. Установлено, что аллювиальным почвам свойственен высокий естественный уровень содержания As, Cu, V, P, Zr, Ni и Zn, превышающий кларки ( $K_k = 1.5-2$ ), и низкий – Al, K, Mg, Ti, Sr, Rb, Na, Cl и Ca ( $K_k < 1$ ), содержание остальных элементов сопоставимо с кларковыми значениями.

**Ключевые слова:** пойменные экотопы, Fluvisols, химические элементы, кларки концентрации, фоновые концентрации

**DOI:** 10.31857/S0032180X22601505, **EDN:** VONZKH

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач современной геоэкологии является выявление закономерностей изменения ландшафтов под действием комплекса абиотических, биотических и антропогенных факторов, решить которую невозможно без изучения процессов развития почв, являющихся естественным монитором происходящих процессов, отражающим и сохраняющим в наборе всех своих признаков историю географической среды [14, 16, 31, 34, 37]. Получить полное представление о генезисе почвенного покрова, являющегося важнейшим объектом геоэкологических исследований, определить источники поступления и скорость миграции элементов в геосистемах, оценить мощность природной или техногенной ано-

малий, а также емкость геохимических барьеров, позволяет химический состав почв [16, 31, 38, 45].

В современный период развития цивилизации остро стоит проблема выявления техногенного загрязнения окружающей среды, при котором почва выступает в качестве мощного природного геохимического буфера и аккумулятора многих вредных для биоты химических элементов [5, 8, 9, 27, 29, 35, 40]. Для того чтобы объективно оценить степень и масштабы загрязнения, необходимо установить их фоновые концентрации, которые являются предметом изучения многих исследователей [3, 11, 18, 29, 37]. Для этого наилучшим образом подходят особо охраняемые природные территории, являющиеся наилучшими индикаторами глобальных изменений среды, поскольку

воздействие здесь локальной антропогенной деятельности минимально [24, 37, 45].

В настоящее время накоплен обширный материал по геохимии почв [2–5, 11, 13, 15, 18, 27, 30, 34–37, 41–45], в котором приведены фоновые концентрации элементов для различных регионов нашей страны, что позволило оценить степень загрязнения антропогенно-измененных территорий и разработать эффективные приемы борьбы с ним. Подобных исследований на территории Республики Марий Эл пока еще очень мало, а имеющиеся работы затрагивают в основном ее восточную возвышенную часть [13, 33]. Результаты оценки валового химического состава почв речных пойм Марийского Заволжья отражены в работе Добровольского [15]. Приведенные в них данные фрагментарны и не позволяют определить фоновые концентрации элементов с необходимой точностью.

Все вышесказанное свидетельствует об актуальности изучения региональных геохимических особенностей почв, поскольку объем накопленных знаний по этому вопросу остается еще недостаточно полным и требует дальнейших работ по оценке их элементного состава.

Цель работы – оценка эколого-геохимического состояния аллювиальных почв среднего течения р. Большая Кокшага в пределах одноименного заповедника. Для ее достижения были решены следующие задачи: 1) определено содержание валовых форм элементов и установлены их фоновые концентрации; 2) установлена геохимическая специфика; 3) обоснована необходимость установления фоновых концентраций химических элементов на локальном и региональном уровнях для адекватной оценки возможной степени загрязненности почв.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

**Объектами исследования** явились аллювиальные почвы, а также пески береговых отмелей, сформировавшиеся в пойме среднего течения р. Большая Кокшага в пределах территории одноименного заповедника, который расположен в умеренном климатическом поясе атлантико-континентальной области центрального агроклиматического района Республики Марий Эл [1]. В тектоническом отношении он находится на восточной окраине Русской платформы в пределах Волго-Уральской антеклизы и Чебоксарского прогиба [6]. На территории заповедника, лесистость которой составляет 96%, преобладают аккумулятивные формы рельефа, представленные речными долинами и зандровыми равнинами.

Протяженность р. Большая Кокшага, которая является левым притоком р. Волга и берет начало в Кировской области, составляет 294 км. Литоло-

гическая основа ее бассейна представлена покровными валунными и лёссовидными суглинками, глинами и лёссами [27, 35]. В пределах Республики Марий Эл протяженность реки составляет 156 км, а литологическая основа представлена мощной толщей древнеаллювиальных и современных аллювиальных песков и супесей [33]. Долина реки имеет хорошо выраженную двухстороннюю почти симметричную пойму шириной до 4 км и надпойменные террасы. Поверхность поймы неровная, грядово-западинная, заболоченная, прорезанная старицами. Основными типами русловых процессов является побочневый и свободное меандрирование.

В пойменных лесах доминируют дубово-липовые фитоценозы с примесью вяза гладкого (*Ulmus laevis* Pall.), осины (*Populus tremula* L.), березы пушистой (*Betula alba* L.) и ольхи черной (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) [19]. Почвенный покров пойм представлен аллювиальными (Fluvisols) дерновыми, луговыми поверхностно-оглеенными, перегнойно-глеевыми и иловато-торфяными почвами.

Изучение элементного состава почв, названия которых даются в соответствии с [25], проведено на 32 временных пробных площадях размером 50 × 50 м, заложенных в 2004–2005 гг. на двух трансектах, пересекающих пойму реки от русла до первой надпойменной террасы, на участках, различающихся по типам русловых процессов и элементам рельефа [19]. В 2016–2019 гг. на них проводили отбор образцов почвы методом конверта в пятикратной повторности почвенным буром Maulwürf с глубины 0–10, 10–20, 20–40, 40–60 и 60–80 см; на большей глубине они подстилаются, как правило, рыхлопесчаным аллювием русловой фации [19]. Наносы песков береговых отмелей (7 участков) отбирали с поверхности до глубины 10 см почвенным буром в трехкратной повторности. Образцы лесной подстилки не отбирали, поскольку на многих участках она была смыта половодьем. Для каждого слоя почв в пределах временных пробных площадей сформировали смешанный образец. В общей сложности проанализировали 125 образцов почв и 7 образцов песков береговых отмелей.

Аллювиальные дерновые слоистые почвы представлены пятью временными пробными площадями, дерновые оподзоленные – одной, луговые поверхностно-оглеенные – одиннадцатью, перегнойно-глеевые – шестью и иловато-торфяные почвы – двумя. Более подробно объекты исследования рассмотрены ранее [19, 20, 22, 23]. Здесь приводим краткое описание.

Дерновые почвы, формирующиеся преимущественно в прирусловой части поймы, имеют маломощный профиль, гумусовый горизонт составляет от 10 до 30 см. Ниже залегает гумусово-иллю-

виальный горизонт, подстилаемый песчаными отложениями, почти не обнаруживающими признаков развития почвенных процессов. Они имеют легкий гранулометрический состав, признаки ожелезнения профиля отсутствуют. Уровень грунтовых вод находится глубже 200 см, а продолжительность затопления составляет от 23 до 35 дней. На них формируются дубово-липово-вязовые древостои II–III классов бонитета. На гривах с низкой продолжительностью затопления (до 20 дней) формируются более зрелые дерновые оподзоленные почвы, у которых под маломощным (15 см) гумусовым горизонтом обнаруживается гумусово-элювиальный, подстилаемый с глубины 80–90 см песчано-глинистыми отложениями. Уровень грунтовых вод находится на глубине 260 см. Произрастают дубово-липово-еловые древостои I–II класса бонитета.

Луговые поверхностно-оглеенные почвы, имеющие тяжелый гранулометрический состав, занимают центральную область поймы. Гумусовый горизонт мощностью 10–15 см хорошо оструктурен, ореховато-зернистый, рыхлый, насыщен мелкими корнями растений. Под ним залегает более уплотненный переходный гумусово-иллювиальный горизонт, часто с признаками оглеения и/или ожелезнения в виде охристых или сизых примазок, реже дробовин различного размера (от 0.25 до 9 мм). Ниже находится сильноуплотненный иллювиальный горизонт, оглеенный с пятнами ожелезнения. Мощность профиля не превышает, как правило, 80–90 см; подстилаются они рыхлыми оглеенными песчаными отложениями, затапливаются на 30–35 дней. На этих почвах формируются дубово-липовые древостои с примесью вяза гладкого и осины, преимущественно III класса бонитета.

Болотные почвы формируются в центральной и притеррасной частях поймы при близком залегании уровня грунтовых вод, часто достигающих дневной поверхности. Срок их затопления превышает 40 дней. Перегнойно-глеевые почвы имеют двучленное строение профиля: минеральные горизонты чередуются с высокоминерализованными торфяными. Они бесструктурные, вязкие, сильнооглеенные с ржавыми примазками. Иловато-торфяные почвы представлены торфяным материалом разной степени разложения. На болотных почвах формируются черноольховые древостои с незначительной примесью березы пушистой и ивы пепельной (*Salix cinerea* L.).

**Методика.** Содержание валовых форм элементов и потерь при прокаливании (ППП) определяли в научно-исследовательском центре “ГеоЛаб” института геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета с помощью рентгенофлуоресцентного волнодисперсионного спектрометра S8 Tiger

(Bruker, Германия) по стандартизированной методике Geoquant® фирмы Bruker. Полученные минимальные значения содержания элементов не выходили за пределы чувствительности использованной аппаратуры.

Для каждого типа аллювиальных почв в пределах исследуемой глубины профиля вычисляли величину среднеарифметического содержания каждого из элементов, а также пределы его изменчивости, что позволило оценить их синлитогенный генезис. Расчет фоновых концентраций проведен на основе полученных результатов для верхнего слоя 0–10 см с использованием статистического метода [29]. Кларк концентрации ( $K_k$ ) рассчитывали согласно [24]. Для выявления геохимической специализации ландшафтов использовали значения кларков элементов верхней части континентальной земной коры, предложенные в работе [24]: Al, Fe, Ti, Mn, P, Sr, Cr, Zn, Ni и As по [14]; K, Ca, Na, Mg и Ba по [43]; Cu и V по [41]; Zr и Rb по [7]; и S по [44].

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета прикладных программ Excel и Statistika 6.0. Для обнаружения влияния различных факторов (тип почвы и слой) на содержание элементов использовали двухфакторный дисперсионный анализ с фиксированными эффектами (модель I) [39], в котором повторностями являлись слои почвы. Результаты дисперсионного анализа фильтровали с помощью критерия Левена, применяемого для подтверждения равенства дисперсий. В случае неподтверждения различий проводили логарифмирование данных и повторный расчет.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Элементный состав песчаных отложений береговых отмелей.** Песчаные отложения формируются на вершинах излучин русла реки и имеют незначительное распространение на территории района исследования. Они характеризуются доминированием Si, содержание которого составляет в среднем 454 г/кг и изменяется крайне слабо; концентрация других элементов очень мала и изменчива (табл. 1). Величина ППП составляет в среднем 0.63%. Ранговый ряд химических элементов по усредненному их содержанию имеет следующий вид: Si > Al > Fe > K > Na > Mg > Ca > Ti > Cr > Mn > P > S > Zr. В единичных пробах песков обнаружены Cu, Ni, Sr, Zn, Pd, Ru, Ag, Cl и Mo. Данные по элементному составу песков можно использовать в качестве эталона, считая его отправной точкой в развитии дерновых почв, для которых они выступают в качестве материнской породы.

**Элементный состав аллювиальных почв.** В аллювиальных почвах установлено содержание

**Таблица 1.** Содержание наиболее распространенных химических элементов и величина потери при прокаливании в песках береговых отмелей,  $n = 7$ 

Показатель	ППП, %	Содержание элемента, г/кг*						
		Si	Al	Fe	K	Na	Mg	Ca
$M_x$	0.63	454.1	5.5	3.8	1.4	0.88	0.80	0.64
max	0.79	455.5	7.7	8.9	1.9	1.27	1.24	0.93
min	0.41	451.5	3.9	2.7	1.0	0.63	0.39	0.41
Размах	0.38	4.0	3.8	6.1	0.9	0.64	0.85	0.52
CV, %	21	0,3	23	58	21	26	35	27

\* Здесь и далее ППП – потеря при прокаливании,  $M_x$  – среднее значение, max и min – максимальное и минимальное значение, CV – коэффициент вариации.

34 химических элементов, но наиболее распространенными являются только 22, которые по усредненной концентрации формируют следующий ранговый ряд: Si > Al > Fe > Ca > K > Mg > Na > Ti > Mn > P > S > Ba > Zr > V > Cl > Cr > Sr > Zn > Ni > Cu > Rb > As (табл. 2). Остальные элементы встречаются в малых количествах в единичных образцах. Среднее содержание Si в почвах составляет 277 г/кг; Al – 53; Fe – 46; K и Ca – около 10; Mg – 8; Na – 4.2; Ti – 3.1; Mn – 2.7; P и S – чуть более 1 г/кг, остальных элементов – менее 1 г/кг. Наиболее стабильно содержание Si, Al, K, Ti, Cr, Ni и Cu, наименее стабильно – Mn, P и S, а также величина ППП.

Все типы аллювиальных почв, как показали исследования, различаются между собой по содержанию химических элементов. Так, дерновые почвы, которые являются самыми молодыми и характеризуются наиболее легким гранулометрическим составом (преимущественно супеси и легкие суглинки) [23], характеризуются самыми низкими значениями ППП, наименьшей концентрацией всех элементов, но наиболее высоким содержанием Si (табл. 3). По содержанию Na они занимают второе место после луговых, а по K и Cr – третье. Для дерновых почв характерен высокий разброс между максимальными и минимальными значениями содержания по многим элементам, что связано с более высокой их концентрацией в гумусовых горизонтах и низкой – в подстилаемых песчаных слоях (60–80 см), почти полностью лишенных визуальных признаков почвообразования [19]. Так, максимальное содержание Si в глубоких слоях лишь немногим уступает таковому в песках береговых отмелей, а минимальное отмечается в гумусовых горизонтах на участках, удаленных от русла реки на расстоянии 500 м. Последние в настоящее время испытывают поемный режим, более свойственный для центральной части поймы.

Луговые поверхностно-оглеенные почвы являются самыми “богатыми” по содержанию большинства элементов. В них почти во всех го-

ризонтах содержатся V и As, тогда как в других они встречаются sporadически; чаще в них, преимущественно в верхних слоях, встречается и Cl. Содержание Si в них ниже, чем в дерновых: минимальные его значения свойственны самым верхним, а максимальные – нижним слоям почвы. Средние величины содержания Al и Fe весьма близки между собой, хотя разброс значений у Fe более значителен. Для этого типа почв характерно очень большое содержание Fe и Mn, что связано с высокой степенью ожелезнения, выраженного в наличии охристых стяжений по всей толщине отдельных горизонтов (преимущественно слой 10–20 см). В некоторых горизонтах обнаружены Fe–Mn-ортштейны, но содержание Fe не превышает 70–75 г/кг, а Mn – 2–2.5 г/кг. Минимальные значения этих элементов (17.3 г/кг и 157.8 мг/кг) выявлены в глинисто-песчаных прослойках на глубине 60–80 см, которые являются подстилающими и представлены отложениями аллювия русловой фации. Перегнойно-глеевые почвы по содержанию многих элементов схожи с луговыми, а по содержанию Cu, Rb и Cl – с иловато-торфяными.

Несмотря на равенство средних значений, пределы варьирования содержания некоторых элементов существенно различны. Так, в луговых почвах максимум содержания Sr составляет 172, а в перегнойно-глеевых – 410 мг/кг. В последних высоки пределы варьирования содержания P и S, максимальные значения которых могут достигать 12.6 и 11.3 г/кг соответственно, а минимальные – 245 и 188 мг/кг. Иловато-торфяные почвы отличаются наибольшим содержанием биофильных элементов (Ca, S, P и Sr), а также Rb и Cl. Содержание литофильных элементов в них значительно ниже, например, у Si оно может опускаться до 80.5 г/кг, а у Al – до 21.7 г/кг.

Особого внимания заслуживают особенности изменения содержания в почвах Zr, являющегося инертным малоподвижным элементом в любой геохимической обстановке [38]. В дерновых, луговых и перегнойно-глеевых почвах среднее его

**Таблица 2.** Статистические показатели величины потери при прокаливании и содержания химических элементов в аллювиальных почвах

Элемент, размерность	Статистический показатель						
	<i>n</i>	$M_x$	max	min	CV	A	E
ППП, %	125	17.8	68.0	0.8	82.7	1.358	1.914
Si, г/кг	125	276.9	442.7	80.5	31.8	0.200	-0.443
Al, г/кг	125	53.3	80.2	9.5	36.4	-0.770	-0.640
Fe, г/кг	125	46.5	147.4	7.8	58.2	1.098	1.854
Ca, г/кг	125	9.6	33.9	0.8	58.6	1.375	3.749
K, г/кг	125	9.3	15.3	2.4	34.3	-0.250	-0.767
Mg, г/кг	125	8.0	13.2	0.8	43.6	-0.519	-0.983
Na, г/кг	125	4.2	10.4	0.6	53.2	0.499	-0.355
Ti, г/кг	125	3.1	4.9	0.3	39.9	-0.778	-0.529
Mn, г/кг	125	2.7	39.6	0.1	205.1	4.421	22.867
P, г/кг	123	1.3	12.7	0.06	110.1	4.455	29.934
S, г/кг	123	1.1	11.3	0.07	174.1	3.309	12.673
Ba, г/кг	114	0.8	3.5	0.16	69.2	2.900	11.237
Zr, мг/кг	125	250.6	942.0	31.5	73.1	1.656	2.983
V, мг/кг	59	152.0	263.8	37.0	25.8	-0.168	1.066
Cl, мг/кг	44	148.6	311.0	68.0	35.5	1.114	1.020
Cr, мг/кг	120	123.3	194.3	29.4	31.8	-0.286	-0.665
Sr, мг/кг	125	123.1	482.8	18.2	61.7	2.514	8.195
Zn, мг/кг	122	90.4	216.9	16.0	48.5	0.180	-0.366
Ni, мг/кг	122	75.1	147.8	23.0	38.0	0.087	-0.451
Cu, мг/кг	123	68.9	135.0	29.1	38.2	0.818	-0.019
Rb, мг/кг	120	47.5	134.4	11.0	48.1	0.409	0.692
As, мг/кг	67	22.9	77.2	10.0	59.6	1.962	4.775

Примечание. *n* – объем выборки, A – коэффициент асимметрии, E – коэффициент эксцесса.

содержание примерно одинаково, а в иловато-торфяных – почти в 2.5 раза ниже. Для содержания Zr также отмечается значительный разброс (в 8–30 раз) между максимальными и минимальными значениями, что может быть связано с составом аллювиальных отложений [21].

На основе полученных данных были вычислены фоновые концентрации элементов для каждого типа аллювиальных почв и песков береговых отмелей (табл. 4), которые послужат отправной точкой для организации фонового мониторинга почвенного покрова на территории заповедника.

Дисперсионный анализ показал, что типы аллювиальных почв достоверно различаются между собой по концентрации большинства химических элементов, слою почв отличаются лишь по величине ППП, а также по концентрации Si, Al, P, Zn и Rb. Изменчивость величины ППП и содержания Si, Al, K, Mg, Ti, Ni, Zn, Cu и Rb в большей степени связана с типом почвы (доля влияния этого фактора составляет более 50%) нежели

со слоем, а Na, P, Zr и Cr – с шумами (ошибками), которые обусловлены действием различных неучтенных факторов. Содержание Fe, Ca, Mn, Ba, S и Sr в выборках каждого типа почв имеет, как установлено с помощью критерия Левена, очень большую изменчивость, что не позволяет оценивать достоверность различий с помощью дисперсионного анализа.

Установлено, что все типы аллювиальных почв достоверно различаются между собой по величине ППП (табл. 5), которая может являться надежным диагностическим признаком, объективно отражающим характер почвообразовательного процесса в поймах рек. Дерновые почвы не отличаются от луговых по содержанию Na и Zr, от иловато-торфяных – K, Mg, Mn и Cr, а от перегнойно-глеевых – только Zr, хотя условия образования всех этих почв различны. Луговые почвы весьма схожи по содержанию большинства химических элементов с перегнойно-глеевыми и только по P, Ba, Zn, Ni, Rb – с иловато-торфяными.

**Таблица 3.** Содержание элементов в различных типах аллювиальных почв

Элемент, размерность	Среднее значение и пределы изменения концентрации элементов*			
	дерновые	луговые	перегнойно-глеевые	иловато-торфяные
ППП, %	$\frac{4.0}{0.8-18.1}$	$\frac{15.5}{2.4-34.8}$	$\frac{24.3}{10.7-53.3}$	$\frac{52.4}{32.4-68.0}$
Si, г/кг	$\frac{398.5}{286.1-442.7}$	$\frac{258.37}{143.9-384.4}$	$\frac{236.31}{128.8-277.6}$	$\frac{135.74}{80.5-220.2}$
Al, г/кг	$\frac{27.0}{9.5-58.4}$	$\frac{65.2}{39.7-75.4}$	$\frac{62.6}{35.8-80.2}$	$\frac{38.2}{21.7-55.1}$
Fe, г/кг	$\frac{17.5}{7.8-42.2}$	$\frac{64.9}{17.5-147.4}$	$\frac{45.8}{25.5-90.3}$	$\frac{33.6}{28.0-38.3}$
K, г/кг	$\frac{6.3}{2.43-14.2}$	$\frac{10.9}{6.6-15.3}$	$\frac{10.5}{7.2-14.9}$	$\frac{5.8}{4.2-7.8}$
Ca, г/кг	$\frac{3.8}{0.81-12.4}$	$\frac{9.2}{3.8-15.3}$	$\frac{12.6}{8.4-24.9}$	$\frac{20.4}{10.6-33.9}$
Na, г/кг	$\frac{4.6}{1.7-7.9}$	$\frac{5.3}{1.9-10.4}$	$\frac{3.1}{1.1-6.0}$	$\frac{1.1}{0.6-2.0}$
Mg, г/кг	$\frac{3.5}{0.8-9.4}$	$\frac{10.6}{3.7-13.2}$	$\frac{9.1}{5.6-11.8}$	$\frac{4.8}{2.3-7.5}$
Ti, г/кг	$\frac{1.4}{0.3-3.7}$	$\frac{3.9}{1.7-4.9}$	$\frac{3.8}{2.4-4.9}$	$\frac{2.4}{1.6-3.0}$
Mn, мг/кг	$\frac{443.4}{125.0-1887.2}$	$\frac{5495.0}{157.8-39638.5}$	$\frac{757.6}{285.0-1500.0}$	$\frac{604.6}{388.8-822.5}$
P, мг/кг	$\frac{481.1}{55.0-1591.7}$	$\frac{1572.1}{119.3-5974.6}$	$\frac{1603.1}{245.3-12661.0}$	$\frac{1638.7}{724.5-2975.1}$
S, мг/кг	$\frac{293.0}{67.0-968.4}$	$\frac{360.5}{70.8-1079.0}$	$\frac{2140.5}{188.6-11337.0}$	$\frac{3909.2}{1669.1-6229.9}$
Ba, мг/кг	$\frac{300.5}{161.0-668.8}$	$\frac{958.4}{335.3-3460.8}$	$\frac{745.2}{455.0-1325.6}$	$\frac{690.5}{515.9-827.6}$
Zr, мг/кг	$\frac{246.5}{31.5-942.0}$	$\frac{256.2}{82.7-917.2}$	$\frac{291.9}{85.9-717.3}$	$\frac{107.9}{60.7-210.2}$
Cr, мг/кг	$\frac{94.7}{45.0-192.3}$	$\frac{139.5}{79.2-188.9}$	$\frac{131.8}{29.4-194.3}$	$\frac{84.2}{41.1-132.7}$
Sr, мг/кг	$\frac{73.5}{18.2-276.5}$	$\frac{122.5}{65.6-172.0}$	$\frac{123.5}{75.3-410.1}$	$\frac{274.1}{77.8-482.8}$
Zn, мг/кг	$\frac{37.5}{16.0-107.4}$	$\frac{105.8}{28.5-216.9}$	$\frac{107.3}{66.7-204.9}$	$\frac{97.4}{68.3-140.6}$
Ni, мг/кг	$\frac{38.6}{23.0-74.2}$	$\frac{88.9}{31.0-147.8}$	$\frac{83.5}{51.1-116.3}$	$\frac{73.2}{60.5-81.7}$
Cu, мг/кг	$\frac{41.4}{29.1-60.0}$	$\frac{62.2}{38.5-89.2}$	$\frac{97.4}{55.1-135.0}$	$\frac{97.3}{71.1-119.8}$
Rb, мг/кг	$\frac{19.3}{8.0-54.5}$	$\frac{52.5}{18.3-84.1}$	$\frac{57.4}{28.4-134.4}$	$\frac{61.1}{32.0-94.2}$

Таблица 3. Окончание

Элемент, размерность	Среднее значение и пределы изменения концентрации элементов*			
	дерновые	луговые	перегнойно-глеевые	иловато-торфяные
V, мг/кг	Не обнаружен	$\frac{155.7}{72.7-214.0}$	$\frac{155.4}{79.5-263.8}$	$\frac{140.5^{**}}{95.8-194.4}$
As, мг/кг	$\frac{10.3^{**}}{4.8-18.0}$	$\frac{24.7}{9.1-77.2}$	$\frac{24.5}{18.2-34.8}$	$\frac{17.0^{**}}{16.7-17.4}$
Cl, мг/кг	$\frac{107.3^{**}}{68.0-140.8}$	$\frac{146.3}{93.2-311.0}$	$\frac{179.0}{131.0-247.0}$	$\frac{184.8^{**}}{100.0-229.0}$

\* Над чертой – среднее значение содержания элемента, под чертой – пределы изменений.

\*\* Элементы встречаются в этих типах почв менее чем в 40% случаев.

Таблица 4. Локальное фоновое содержание элементов в аллювиальных почвах и песках береговых отмелей

Элемент, размерность	Значение фоновой концентрации химического элемента*				
	пески отмелей**	дерновые	луговые	перегнойно- глеевые	иловато- торфяные
Si, г/кг	455	397 ± 21	258 ± 11	251 ± 17	118 ± 15
Al, г/кг	7.7	54 ± 6.2	63 ± 1.5	64 ± 4	30 ± 3.6
Fe, г/кг	8.9	38 ± 5.0	72 ± 4.0	52 ± 4	31 ± 1.4
K, г/кг	1.9	13 ± 1.4	13 ± 0.6	12 ± 0.9	6.0 ± 0.8
Ca, г/кг	0.9	11 ± 1.6	14 ± 0.7	20 ± 2.3	23 ± 2.5
Na, г/кг	1.3	7.0 ± 0.6	5.7 ± 0.5	3.3 ± 0.5	1.1 ± 0.2
Mg, г/кг	1.2	8.3 ± 1.2	10.6 ± 0.4	9.2 ± 0.6	4.8 ± 1.0
Ti, г/кг	0.3	3.5 ± 0.5	4.2 ± 0.1	3.7 ± 0.2	2.2 ± 0.3
Mn, г/кг	0.2	1.8 ± 0.3	7.1 ± 1.0	1.2 ± 0.1	0.8 ± 0.1
P, г/кг	0.2	1.5 ± 0.2	2.3 ± 0.2	3.5 ± 0.6	2.9 ± 0.5
S, г/кг	0.1	1.0 ± 0.1	0.1 ± 0.05	2.3 ± 0.3	5.9 ± 0.7
Ba, мг/кг	–	566 ± 71	950 ± 65	847 ± 87	709 ± 80
Zr, мг/кг	76	709 ± 128	268 ± 21	478 ± 98	62 ± 1
Cr, мг/кг	172	180 ± 20	150 ± 6	143 ± 12	48 ± 3
Sr, мг/кг	–	127 ± 14	145 ± 7	278 ± 52	312 ± 13
Zn, мг/кг	–	98 ± 15	152 ± 10	151 ± 11	142 ± 4
Ni, мг/кг	–	69 ± 7	106 ± 6	104 ± 7	77 ± 7
Cu, мг/кг	39	58 ± 4	70 ± 2	131 ± 12	102 ± 13
Rb, мг/кг	–	46 ± 6	82 ± 6	107 ± 14	98 ± 13
V, мг/кг	–	–	157 ± 4	173 ± 24	–
Cl, мг/кг	–	–	220 ± 20	196 ± 12	216 ± 5
As, мг/кг	–	–	31 ± 3	–	–

\* Приведена величина фоновой концентрации и ошибка среднего.

\*\* Фоновые концентрации элементов в песках береговых отмелей приведены по максимальному их содержанию; прочерк означает отсутствие элемента.



Рис. 1. Расположение заповедника “Большая Кокшага” на территории Республики Марий Эл (слева) с указанием мест отбора проб почвы (справа), выделенных квадратом.

Это сходство обусловлено, по нашему мнению, однотипным генезисом луговых и перегнойно-глеевых почв, которые формировались из сходного по валовому и гранулометрическому составу аллювия с той лишь разницей, что последние в настоящее время заболочены. Иловато-торфяные почвы достоверно не отличаются от перегнойно-глеевых по концентрации в них P, Zn, Ni, Cu и Rb.

**Геохимическая специфика почв.** Построенные геохимические спектры (рис. 2) свидетельствуют о том, что по сравнению с кларком литосферы все типы аллювиальных почв обеднены Al ( $K_k$  0.36–0.86), K ( $K_k$  0.25–0.47), Mg ( $K_k$  0.23–0.71), Na ( $K_k$  0.04–0.22), Ca ( $K_k$  0.15–0.79), Ti ( $K_k$  0.37–0.99) и Rb ( $K_k$  0.13–0.41); превышение отмечается только по Cu ( $K_k$  1.5–3.6) и As ( $K_k$  2.1–4.9). Дерновые почвы характеризуются также пониженным содержанием большинства химических элементов; помимо Cu и As в них накапливается также Zr, содержание Cr близко к кларковому. В луговых и перегнойно-глеевых почвах отмечается накопление P, Ni, Cr, Fe, Zn, Ba, Zr и V, а в иловато-торфяных – S, P и Ni. Луговые почвы в значительной степени обогащены Mn ( $K_k$  7.1). В песках берего-

вых отмелей накапливается только Cr ( $K_k$  1.6), содержание Cu приближается к кларковому, а остальных элементов ниже его.

Какими причинами может быть обусловлено варьирование содержания химических элементов в аллювиальных почвах? Ответ на этот вопрос сложен, так как пойма реки представляет собой своеобразный природный резервуар, в котором через элементный состав находит отражение геологическая история всего ее бассейна. Несомненно одно, что валовой состав почв унаследован от элементного состава аллювиальных отложений, а также от внутрпочвенного (латерального) стока элементов, растворенных в грунтовых водах и закрепленных в условиях поймы. В свою очередь аллювиальные отложения образуются в процессе геохимической дифференциации рыхлых отложений и наследуют характерные черты микроэлементного состава исходных пород, что отражается в провинциальных особенностях их состава [15]. Рассматриваемая территория расположена в восточной части Центрально-Русской минералого-геохимической провинции Восточно-Европейской равнины на стыке с Приуральской [16]. Здесь сказывается влияние Уральской области

Таблица 5. Матрица сходства аллювиальных почв по содержанию элементов и органического вещества

Почвы	Элементы, по содержанию которых почвы не различаются		
	дерновые	луговые	перегнойно-глеевые
Дерновые	–	–	–
Луговые	Na, Zr	–	–
Перегнойно-глеевые	Zr	Si, Al, K, Ti, P, Zr, Cr, Zn, Ni, Rb	–
Иловато-торфяные	K, Mg, Cr	P, Zn, Ni, Rb	P, Zn, Ni, Cu, Rb

Примечание. Матрица построена на основе дисперсионного анализа и сравнения экотопов по критерию Шеффе, различия достоверно значимы на уровне  $p < 0.05$ .



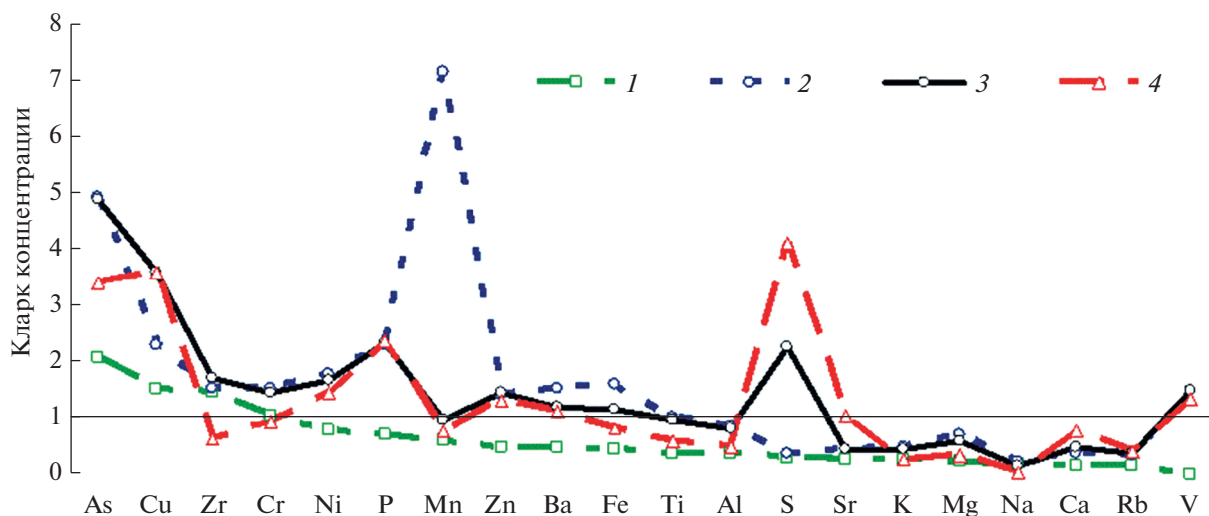


Рис. 2. Геохимический спектр содержания элементов в аллювиальных почвах (1 – дерновые; 2 – луговые; 3 – перегнойно-глеевые; 4 – иловато-торфяные).

сноса и кислых пород Балтийского щита. Таким образом, аллювиальные отложения наследуют состав элементов, характерный для двух провинций. Известно [5, 16], что четвертичные отложения Приуралья отличаются повышенным количеством Cu, V, Cr, Zn и Ni, которое характерно для основных пород Урала. В то же время они содержат несколько меньше Zr, характерного для кислых пород Балтийского щита. Например, содержание Zr в тяжелой фракции покровных суглинков Владимирского Ополя на 2–3 порядка больше, чем в Приуралье, а содержание Cr примерно во столько же раз меньше [16]. В таежной подзолистой зоне Cu обладает высокой подвижностью и в значительных количествах выносятся из почв в почвенно-грунтовые и речные воды. На пути миграции часть соединений Cu поглощается, задерживается почвами подчиненных ландшафтов [26]. В аллювиальных почвах находим превышение содержания всех этих элементов, хотя в различных типах почв это проявляется по-разному. Наибольшее накопление элементов свойственно луговым почвам.

Превышение содержания Mn, Fe, P, Ba и As (особенно в луговых почвах) над кларком земной коры может быть обусловлено их интенсивной миграцией с водораздельных пространств и накоплением в почвах, которые в дальнейшем подвергаются размыву. Например, в гумидных ландшафтах кислого класса P мигрирует и накапливается, в частности в пойменных почвах [31]. Mn мобилизуется и отчасти выносятся в кислом гумидном климатическом типе, задерживается на окисдно-железистом геохимическом барьере путем сорбции с последующим окислением [40]. Привнос этих элементов связан также с аллювием, образовавшимся в результате размыва почво-

образующих пород, расположенных выше по течению реки (Кировская область) и представленных покровными, валунными и лёссовидными суглинками, глинами и лёссами [27], которые, как известно [26], богаты Mn. Накопление Fe может происходить в результате дополнительного бокового (латерального) притока железистых вод, капиллярного поднятия, последующей смесной реакции среды по профилю почв [17]. Такое явление характерно для рек, долины которых проложены среди задровых низин с большим количеством болот и где почвенно-грунтовые воды бедны Ca, но обогащены органическим веществом и закисными соединениями Fe и Mn [15]. В целом, новейшие отложения пойм обычно значительно обогащены Mn, Cr, V, Ni, Sr и Cu [26].

Концентрация других элементов в пойменных почвах не превышает кларка, а Na и Rb в несколько раз ниже его. Известно [38], что Na легко выходит из биологического круговорота и в условиях влажного климата выносятся стоком в океан, поэтому гумидные ландшафты бедны им. Rb отличается высокой миграционной способностью, проявляющейся в большинстве эндогенных процессов [12], хорошо мигрирует в кислых водах окислительной и восстановительно-глеевой обстановок [38]. Sr, а также Mg и Na, накапливаются в аридных условиях при засолении почв [38]. Приведенные выше данные подтверждают многочисленные выводы о роли аллювиальных почв как геохимических барьеров на пути миграции химических элементов, в том числе тяжелых металлов, с водораздельных территорий [5, 15]. Выявленные геохимические аномалии являются природными (естественно обусловленными) особенностями территории среднего течения р. Большая Кокшага.

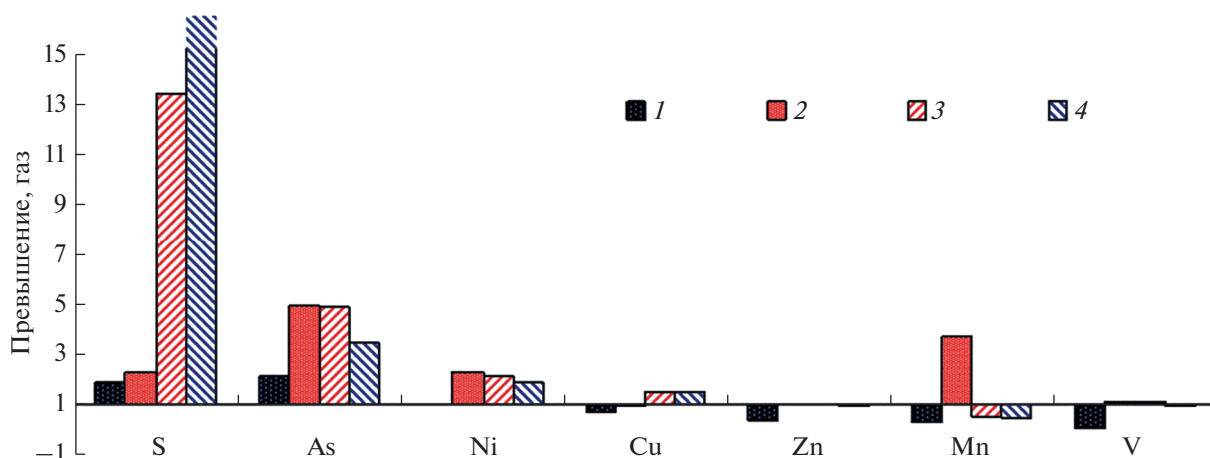


Рис. 3. Превышение концентрации элементов в аллювиальных почвах значений ПДК и ОДК (1 – дерновые; 2 – луговые; 3 – перегнойно-глеевые; 4 – иловато-торфяные). Превышение по S в иловато-торфяных почвах составляет 24 раза.

Оценим, как сочетаются полученные значения содержания элементов в аллювиальных почвах заповедника, удаленного на значительные расстояния от источников загрязнения, с существующими нормативами (ПДК и ОДК), используемыми при оценке загрязнения почв населенных мест и сельскохозяйственных угодий тяжелыми металлами и металлоидами, чтобы показать значение природной составляющей локального геохимического распределения элементов.

Сравнение средних концентраций элементов в аллювиальных почвах с ПДК и ОДК [32] показало, что превышение по S отмечено во всех типах почв, но особенно сильное в переувлажненных – в 13 и 24 раза соответственно (рис. 3). Превышение концентрации As ОДК обнаружено также во всех типах, но наибольшие значения свойственны луговым и иловато-глеевым почвам (почти в 2.5 раза). Превышение ОДК в 2.0 раза по Ni установлено в луговых, перегнойно-глеевых и иловато-торфяных почвах. По Mn отмечено превышение ПДК более, чем в 3.5 раза, только в луговых почвах.

Таким образом, если принимать во внимание полученные результаты, складывается преувеличенное представление о загрязненности фоновых почв, однако у нормативов ПДК/ОДК есть недостатки, которые состоят в том, что, как отмечают некоторые исследователи [3, 9, 28], для оценки загрязнения почв используются фиксированные значения концентраций тяжелых металлов и металлоидов, не разделяя их природные и техногенные доли. Не учитывают они также природно-климатические и геохимические особенности регионов; игнорируют взаимодействия поллютантов с почвенными компонентами, что приводит к ошибочной характеристике их токсичности. Нормативы отдельных элементов имеют значения ниже кларка, что ограничивает их применимость за

счет завышенной экологической опасности даже фоновых уровней поллютантов. Это ведет к завышению опасности загрязнения на территории положительной геохимической аномалии и к занижению – на площади отрицательной природной аномалии [10]. В результате на такие ПДК/ОДК невозможно ориентироваться, что еще раз подчеркивает необходимость установления фоновых концентраций химических элементов на локальном и региональном уровнях для адекватной оценки возможной степени загрязненности почв. Наличие высоких концентраций поллютантов не всегда говорит об их высокой фактической опасности, поскольку они могут находиться в недоступном для растений состоянии, а их попадание в грунтовые воды затруднено благодаря прочному закреплению определенными фазами-носителями, в роли которых выступают, как известно, гидроксиды Fe и оксиды Mn, а также гумус и слоистые силикаты [8, 10].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По элементному составу аллювиальные почвы среднего течения р. Большая Кокшага близки к двум минералого-геохимическим провинциям: Центрально-Русской и Приуральской. В них установлено содержание 34 химических элементов, а для 22 наиболее распространенных из них составлен ранжированный ряд и вычислен региональный геохимический фон по типам почв. Полученные данные отражают естественные региональные особенности территории.

Величина концентрации большинства элементов зависит от типа почв: наиболее низка она в дерновых, а наиболее высока – в луговых и перегнойно-глеевых. Содержание Si изменяется в них в обратном порядке. Наибольшее количество биофильных элементов накапливают иловато-

торфяные почвы, представляющие собой высокоминерализованные торфяные залежи.

Концентрация As, Cu, P, S, Zr, Ni, Ba и Zn в аллювиальных почвах выше кларковых значений, а K, Mg, Rb, Na и Ca – ниже. Содержание Fe, Mn, Ti, Al, Cr, Ba и V близко к величине кларка.

Установленное превышение ПДК/ОДК по ряду элементов на территории заповедника, удаленной от источников загрязнения, позволяет сделать вывод о необходимости учета региональных геохимических аномалий и установления фоновых концентраций химических элементов для адекватной оценки возможной степени загрязненности почв.

Результаты работы послужили основой для организации мониторинга за состоянием и загрязнением окружающей среды на территории заповедника “Большая Кокшага” в рамках ведения государственного экологического мониторинга.

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Марийской АССР. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 107 с.
2. Ахметова Г.В. Географические особенности распределения микроэлементов в почвах среднетаежной подзоны Республики Карелия // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Сер. Биологические науки. 2016. № 10. С. 572–576.
3. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фонового содержания тяжелых металлов в почвах европейского северо-востока России // Почвоведение. 2007. № 9. С. 1064–1070.
4. Богатырев Л.Г., Ладонин Д.В., Семенов О.В. Микроэлементный состав некоторых почв и почвообразующих пород южной тайги Русской равнины // Почвоведение. 2003. № 5. С. 568–576.
5. Васильев А.А., Романова А.В. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья. Пермь: ИПЦ “Прокрость”, 2014. 231 с.
6. Васильева Д.П. Ландшафтная география Марийской АССР. Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1979. 136 с.
7. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. Вып. 7. С. 555–571.
8. Водяницкий Ю.Н. Показатели закрепления тяжелых металлов и металлоидов в почвах Среднего Предуралья // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2009. Вып. 63. С. 63–73.
9. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 56–82.
10. Водяницкий Ю.Н. Железо в гидроморфных почвах. М.: АПР, 2017. 160 с.
11. Волгин Д.А. Фоновый уровень и содержание тяжелых металлов в почвенном покрове Московской области // Вестник Моск. гос. областного ун-та. География. 2011. № 1. С. 26–33.
12. Гавриленко В.В., Сахоненко В.В. Основы геохимии редких литофильных металлов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986. 172 с.
13. Газизуллин А.Х. Почвенно-экологические условия формирования лесов Среднего Поволжья. Казань: РИЦ “Школа”, 2005. 496 с.
14. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
15. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 293 с.
16. Добровольский В.В. Гипергенез и коры выветривания. Избр. тр. М.: Научный мир, 2007. Т. I. 512 с.
17. Зонн С.В. Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1982. 208 с.
18. Ильин В.Б., Сысо А.И., Байдина Н.Л., Конрабаева Г.А., Черевко А.С. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 5. С. 550–556.
19. 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.
20. Исаев А.В., Митякова И.И. Экогеохимия почв прирусловой части поймы, развивающихся в условиях меандрирования // Научн. тр. гос. природного заповедника “Большая Кокшага”. 2017. Вып. 8. С. 76–114.
21. Исаев А.В., Шарифутдинов Р.Н., Гареев Б.И. Эколого-геохимическая характеристика аллювиальных отложений в средней части р. Большая Кокшага и их роль в формировании почвенного покрова // Научн. тр. гос. природного заповедника “Большая Кокшага”. 2020. Вып. 9. С. 8–29.
22. Исаев А.В., Демаков Ю.П., Шарифутдинов Р.Н., Митякова И.И. Экогеохимия аллювиальных луговых и дерново-луговых почв заповедника “Большая Кокшага” // Научн. тр. гос. природного заповедника “Большая Кокшага”. 2020. Вып. 9. С. 30–71.
23. Исаев А.В., Демаков Ю.П., Шарифутдинов Р.Н. Закономерности изменения гранулометрического состава аллювиальных почв в процессе развития пойм рек // Вестник Поволжского гос. техн. ун-та. Сер. Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 2. С. 80–93. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2022.2.80>
24. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестник Моск. ун-та. 2015. Сер. 5, география. № 2. С. 7–17.
25. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
26. Ковда В.А., Зырин Н.Г. Микроэлементы в почвах Советского Союза. Вып. 1. Микроэлементы в почвах европейской части СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1973. 283 с.

27. *Колеватых Е.А.* К вопросу о генезисе и геохимии покровных суглинков Вятско-Камского Предураля // Литосфера. 2010. № 6. С. 55–65.
28. *Коновалов А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П., Фурсова П.В.* Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв // Биосфера. 2017. Т. 9. № 9. С. 214–229. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v9i3.371>
29. *Мотузова Г.В., Безуглова О.С.* Экологический мониторинг почв. М.: Гаудеамус, 2007. 237 с.
30. *Озол А.А.* Геохимические исследования почв Татарстана // Проблемы экологической химии Республики Татарстан. Казань, 1998. Вып. 1. С. 5–27.
31. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 768 с.
32. СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”.
33. *Смирнов В.Н.* Почвы Марийской АССР, их генезис, эволюция и пути улучшения. Йошкар-Ола: Марийск. кн. изд-во, 1968. 532 с.
34. *Сысо А.И.* Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 277 с.
35. *Тюлин В.В.* Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отд., 1976. 288 с.
36. *Федоров Ю.А., Минкина Т.М., Шипкова Г.В.* Тяжелые металлы в ландшафтах верховых болот Псковской области // География и природные ресурсы. 2017. № 2. С. 46–55.
37. *Хрусталева М.А.* Экогеохимия моренных ландшафтов центра Русской Равнины. М.: Техполиграфцентр, 2002. 315 с.
38. *Чертко Н.К., Чертко Э.Н.* Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие. Минск: Изд. центр БГУ, 2008. 140 с.
39. *Шедфе Г.* Дисперсионный анализ / Пер. с англ. Севастьянова Б.А., Чистякова В.П. М.: Физматгиз, 1963. 625 с.
40. *Юдович Я.Э., Керпус М.П.* Геохимия марганца в процессах гипергенеза: обзор // Биосфера. 2013. Т. 5. № 1. С. 21–36.
41. *Hu Z., Gao S.* Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chem. Geol. 2008. V. 253. P. 205–221. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2008.05.010>
42. *Kabata A.* Trace Elements in soils and plants. London–N.Y.: CRC Press Taylor and Francis Group Boca Raton, 2011. 534 p. <https://doi.org/10.1017/S0014479711000743>
43. *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. 2003. V. 3. The Crust. Elsevier Sci. P. 1–64. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03016-4>
44. *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. V. 59. P. 1217–1232. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2)
45. *Wilson M.A., Burt R., Indorante S.J., Jenkins A.B., Chiaratti J.V., Ulmer M.G., Scheyer J.M.* Geochemistry in the modern soil survey program // Environ. Monit. Assess. 2008. V. 139. P. 151–171. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9822-z>

## Features of the Elemental Composition of Alluvial Soils of the Middle Course of the Bolshaya Kokshaga River

A. V. Isaev<sup>1, \*</sup>, Yu. P. Demakov<sup>1, 2</sup>, and R. N. Sharafutdinov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>State Nature Reserve “Bolshaya Kokshaga”, Yoshkar-Ola, 424038 Russia

<sup>2</sup>Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, 424000 Russia

<sup>3</sup>Naberezhnye Chelny Institute, Kazan (Volga Region) Federal University, Naberezhnye Chelny, 423812 Russia

\*e-mail: avsacha@yandex.ru

The content of chemical elements in the alluvial soils (Fluvisols) of the middle reaches of the Bolshaya Kokshaga River, inheriting the composition from the lithological basis of two mineralogical-geochemical provinces of Central Russian and Priuralskaya, was estimated, which made it possible to establish the limits of the content of gross forms of elements and their background concentrations, to lay the foundation for monitoring the state of the environment on the territory of the Bolshaya Kokshaga Reserve. The content of 34 chemical elements was found in alluvial soils and sands of coastal shoals, of which the most common are Si, Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, Ti, Mn, P, S with a content of >1 g/kg. The concentrations of many elements significantly differ by soil types, the greatest similarity was revealed between meadow and humus-gley. In comparison with alluvial soils, the sands of coastal shoals are characterized by a maximum content of Si and a minimum of all other elements. Turf soils are characterized by the lowest content of elements, with the exception of Si, meadow and humus-gley accumulate more Al, Fe, K, Na, Mg, Ti, Mn, Ba, Cr, Zn, Ni, V and As, silt-peat, which are highly mineralized peat deposits, accumulate more Ca, S, P, Sr, Cl and Rb. It was found that alluvial soils are characterized by a high natural level of content of As, Cu, V, P, Zr, Ni and Zn, exceeding the clarks ( $Kk = 1.5-2$ ), and low—Al, K, Mg, Ti, Sr, Rb, Na, Cl and Ca ( $Kk < 1$ ), the content of the remaining elements are comparable to Clark values.

**Keywords:** floodplain ecotopes, Fluvisols, chemical elements, clarks of concentration, background concentrations