

Научная статья

УДК 504.54

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-139-151

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЕ ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ**Екатерина Алексеевна Дзюба**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, Россия

aea_eco@mail.ru, Scopus Author ID: 57217048414, SPIN-код: 1070-5404

Аннотация. Разработано природно-техногенное геохимическое районирования Пермского края. В регионе развита добывающая промышленность, и изучение пространственного распределения элементов представляет значительный теоретический и практический интерес. В ходе исследования были получены фоновые содержания, характеризующие естественный геохимический фон региона. Отдельно были исследованы территории, на которых отмечается высокая степень антропогенной трансформации природной среды. В результате проведения кластерного анализа были выделены природно-техногенные геохимические районы, для всех районов была определена геохимическая специализация, выделена ассоциация элементов: Северный Урал лито-sidero-халькофильной специализации с ванадий-цинково-полиметаллической ассоциацией; Западный Урал лито-sidero-халькофильной специализации с ванадий-полиметаллической ассоциацией; Кизеловский угольный бассейн sidero-халько-литофильной специализации с кобальт-марганцево-полиметаллической ассоциацией; Средняя тайга sidero-халькофильной специализации с марганцево-свинцовой ассоциацией; Южная тайга лито-халькофильной специализации со стронций-цинковой ассоциацией; Верхнекамское месторождение калийных солей sidero-лито-халькофильной специализации с кобальт-полиметаллической ассоциацией; Хвойно-широколиственных лесов sidero-лито-халькофильной специализации с никелево-полиметаллической ассоциацией; Кунгурская лесостепь sideroфильной специализации с кобальт-никелевой ассоциацией. Полученные результаты актуальны при проведении эколого-геохимического изучения территории Пермского края. Сделаны выводы о необходимости локального изучения геохимических особенностей почв, находящихся в зоне влияния добычи нефти, для обеспечения экологической безопасности на сопутствующих территориях. Наиболее актуальны исследования на территориях распространения карста и в водно-болотных комплексах.

Ключевые слова: геохимический фон, калийная соль, месторождения, нефть, потенциально токсичные металлы, почва, районирование, техногенная трансформация природной среды, уголь, экологическая безопасность

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Пермского края № 24-17-20025.

Для цитирования: Дзюба Е.А. Природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2024. № 3 (70). С. 139–151. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-139-151

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-139-151

**NATURAL-TECHNOGENIC GEOCHEMICAL ZONING
OF THE PERM TERRITORY****Ekaterina A. Dziuba**

Perm State University, Perm, Russia

aea_eco@mail.ru, Scopus Author ID: 57217048414, SPIN-код: 1070-5404

Abstract. The paper presents a natural-technogenic geochemical zoning of the Perm Territory as developed by the author. The region has a developed mining industry, and the study of the spatial distribution of elements is of considerable theoretical and practical interest. In the course of the study, background contents were obtained that characterize the region's natural geochemical background. Separately, the areas with a high degree of anthropogenic transformation of the natural environment were studied. As a result of the cluster analysis, natural-technogenic geochemical areas were identified, geochemical specialization was determined for all the areas, and an association of elements was identified: the Northern Urals of litho-sidero-chalcophile specialization with vanadium-zinc-polymetallic association; Western Urals of litho-sidero-chalcophile specialization with vanadium-polymetallic association; Kizel coal basin of sidero-chalco-lithophile specialization with cobalt-manganese-polymetallic association; Middle taiga of sidero-chalcophile specialization with manganese-lead association; Southern taiga of litho-chalcophile specialization with strontium-zinc association; Verkhnekamskoye deposit of potash salts of sidero-litho-chalcophile specialization with cobalt-polymetallic association; Coniferous-deciduous forests of sidero-litho-chalcophile specialization with nickel-polymetallic association; Kungur forest-steppe of siderophile specialization with cobalt-nickel association. The results obtained are relevant for the ecological and geochemical study of the territory. The author comes to a conclusion that it is necessary to locally study the geochemical characteristics of soils in the zone of oil production influence to ensure environmental safety in the associated territories. Of most relevance is research in karst areas and in wetland complexes.



*Экология и природопользование**Дзюба Е.А.*

Keywords: geochemical background, potassium salt, deposits, oil, potentially toxic metals, soil, zoning, technogenic transformation of the natural environment, coal, environmental safety

Funding: The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation and the Perm Territory No. 24-17-20025, <https://rscf.ru/project/24-17-20025/>

For citation: Dziuba, E.A. (2024). Natural-technogenic geochemical zoning of the Perm Territory. *Geographical Bulletin*. No. 3(70). Pp. 139–151. doi: 10.17072/2079-7877-2024-3-139-151

Введение

Элементный состав почв формируется под влиянием ряда факторов, из которых большую роль играет состав подстилающих горных пород [1]. Но часто высокие концентрации элементов связывают именно с влиянием антропогенной деятельности [2–4]. Особенно актуальна эта проблема для горнодобывающих районов, где из-за высокого загрязнения возможно рассеивание на большие расстояния потенциально опасных элементов [5].

В рамках прикладных исследований важную роль занимает изучение геохимической специализации отдельных регионов [6]. Значение фоновых содержаний на определенной территории позволяет обозначить возможные экологические риски [7–9], причем в данном случае актуальнее всего после изучения фоновых территорий выявлять территории, испытывающие высокую антропогенную нагрузку. Исследование геохимических особенностей территории возможно с целью ее рационального зонирования, как это было сделано в прибрежной зоне Южной Кореи [10], территории с высоким содержанием селена и кадмия в Китае [11] или для геоэкологического районирования в целом [12; 13].

Пермский край является регионом с развитой добывающей промышленностью, что в свою очередь является причиной постоянно увеличивающейся антропогенной нагрузки. Геоэкологические особенности территории края были сформированы под влиянием природных и антропогенных факторов. Выявление закономерностей пространственной дифференциации геохимического состава в условиях техногенной трансформации природной среды, уровня техногенных изменений, основных факторов, которые обуславливают неоднородность геохимических спектров на уровне региона, остается крупной теоретической задачей.

Не менее важна и прикладная составляющая, накопление и миграция потенциально опасных химических элементов, экологическая безопасность и вопросы восстановления природной среды при техногенной нагрузке и в посттехногенный период. Разработка современного геохимического районирования территории Пермского края вносит свой вклад в решение этих вопросов.

Наиболее важным видом промышленности на территории края на данный момент является добыча нефти и калийных солей. Причем нефтяные месторождения имеют достаточно широкое распространение по территории региона с севера на юг [14]. При добыче нефти [15; 16] и калийных солей [17] происходит техногенная трансформация природной среды, которая выражается в значительном изменении физико-химических свойств почв [18]. Выделяются элементы, содержание которых обусловлено именно нефтяным загрязнением. В данном случае достаточно универсальным для всех природных зон считается Sr [19], а также говорят о загрязнении почв V, Ni, Cr, As, Ti [20; 21] (условно к ним добавляют Pb и Zn). При оценке распространения загрязнения вокруг месторождения актуальным является содержание Zn и Pb [22]. Ni и Cd относят к металлам, которые присутствуют в составе нефти, а значит, являются важными для мониторинга нефтезагрязненных территорий [23]. Отходы добычи калийных солей представлены легкорастворимыми компонентами (хлоридами калия, натрия и магния) и содержат большое количество потенциально токсичных элементов (Sr, Mn, Ni, Co, Cr, Zn и др.), а также реагентов, используемых для обогащения полезных ископаемых [24].

Кизеловский угольный бассейн (КУБ) имеет серьезное значение, представляя собой объект региональной экологической катастрофы. Вследствие закрытия шахт на данной территории сложилась неблагоприятная экологическая обстановка [25], территория подвержена высокому уровню загрязнения. После прекращения добычи угля и ликвидации шахт сохраняются природно-техногенные потоки веществ и оказывается влияние на физико-химические свойства почв [26]. По данным исследователей почв Донецкого угольного бассейна [27], в радиусе 5 км вокруг ликвидируемых шахт обнаружены повышенные концентрации металлов в почвах (Mn до 12,5 ПДК; V до 16 ПДК; Cr до 20 ПДК; Ni, Pb и Zn до 8 ПДК). Похожая ситуация сложилась в районе заброшенных шахт Бампус-Коув штата Теннесси, США [28]. Там ученые отметили повышенное содержание в почвах Zn, Mn, Cu, Pb и Cd. В Марокко проводили исследования загрязнения почв вокруг рудника Зейда [29]. В данном исследовании осуществлялся анализ содержания 20 элементов, из которых отдельно были отмечены Mn, As, Co и Pb.

Ученые пришли к выводу, что именно эти элементы представляют опасность для здоровья населения и отражают специфичность загрязнения районов угольных шахт.

Целью исследования стала разработка природно-техногенного геохимического районирования Пермского края.

Задачи исследования:

1. Установить фоновое содержание макро- и микроэлементов в почвах природных районов Пермского края;
2. Определить значимость процессов техногенеза, которые влияют на трансформацию природной среды регионального уровня;
3. Выявить геохимические особенности, сформированные на территории влияния добычи калийных солей и добычи нефти;
4. Установить геохимические особенности, сформированные на территории Кизеловского угольного бассейна;
5. Разработать природно-техногенное районирование региона по геохимическим особенностям на основе применения кластер-анализа.

Методы

Для исследования проводился отбор проб на участках (рис. 1), не испытывающих прямого воздействия хозяйственной деятельности (особо охраняемых природных территориях (ООПТ)), и участках, находящихся под постоянной техногенной нагрузкой (территории нефтяных месторождений, территории влияния КУБ и Верхнекамского месторождения солей (ВКМС)).

В ходе исследования было проведено геохимическое опробование на 92 участках, относящихся к ООПТ. Негативное воздействие на них имеет ограниченный и учитываемый характер [30; 31], т.к. ведется мониторинг природной среды ООПТ [32]. В результате можно считать, что в почвах на территории ООПТ формируется геохимический фон территории. ООПТ имеют существенное распространение в Пермском крае, располагаясь на наиболее типичных природных участках [33], они являются самыми репрезентативными для определения геохимических фоновых показателей. В Пермском крае выделяют шесть природных районов [34], в ООПТ которых были заложены пробные площадки (I – Северный Урал; II – Западный Урал; III – Средняя тайга; IV – Южная тайга; V – Хвойно-широколиственных лесов; VI – Кунгурская лесостепь).

В качестве объектов с техногенной нагрузкой были выбраны территории добычи нефти (обследованы территории 20 месторождений), добычи калийных солей (территория Верхнекамского месторождения) и территория, на которой ранее осуществлялась добыча угля (Кизеловский угольный бассейн), а сейчас прекращена, при этом многие считают, что экологическая обстановка еще более усугубилась в посттехногенный период [35].

Отбор почв проводится методом конверта. Метод представляет собой отбор смешанной пробы. Смешанный образец состоит из почвенных проб, взятых методом конверта из пяти точек. Первая проба отбирается из стенки разреза, а остальные – крест-накрест от первой точки на расстоянии 10–20 м. Масса пробы составляет 400 г [36].

Определение содержания макро- и микроэлементов было выполнено методом рентгенофлуоресцентного анализа на волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» в лаборатории экологии и охраны природы ПГНИУ. Проводился количественный анализ по валовому содержанию в почвах Sr (мг/кг), Pb (мг/кг), As (мг/кг), Zn (мг/кг), Ni (мг/кг), Co (мг/кг), Fe₂O₃ (%), MnO (мг/кг), Cr (мг/кг), V (мг/кг), TiO₂ (%).

Для статистической обработки полученных результатов использовалась программа Microsoft Excel 2010. Были рассчитаны следующие статистические показатели: среднее (\bar{x} , мг/кг), стандартное отклонение (σ , мг/кг), стандартная ошибка (SE_n, мг/кг), доверительный интервал (P, мг/кг), коэффициент вариации (CV, %).

Региональное фоновое содержание принималось с учетом доверительного интервала и представлено в формате: $\bar{x} \pm P$, мг/кг (при 95 % значимости по критерию Стьюдента). Равномерность полученного среднего содержания проверялась относительно CV, при значении которого выборка принималась как однородная (до 33 %) или неоднородная (более 33 %). Средние значения для природных районов взяты при обязательном условии, что CV менее 33 %. Значимость различий между содержанием элементов в почвах вычислялась согласно t-критерию Стьюдента.

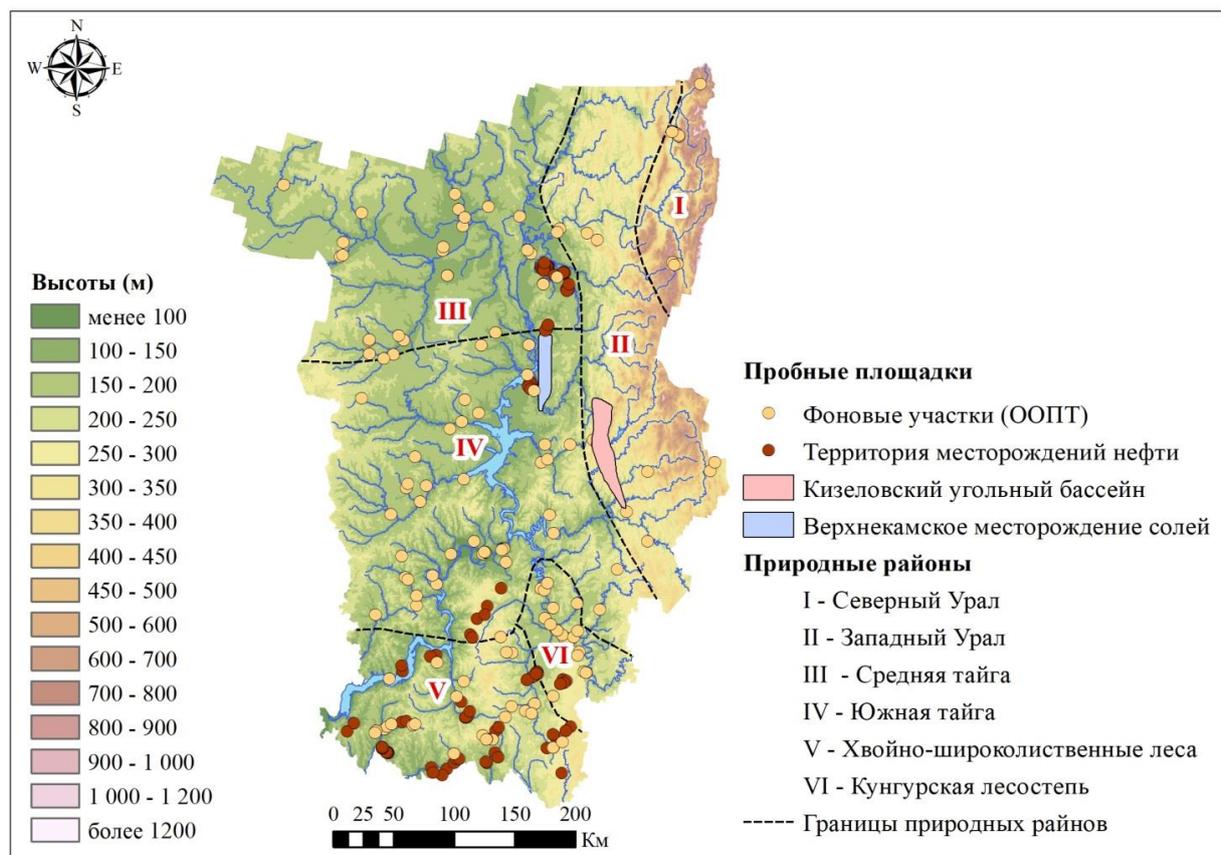


Рис. 1. Районы отбора проб для определения геохимических свойств почв

Fig. 1. Sampling areas for determining the geochemical properties of soils

По данным определения фоновых показателей Пермского края и природных районов, средних содержаний на территориях, подверженных техногенному воздействию, был проведен кластерный анализ в программе Statistica. Кластеризация – один из наиболее актуальных методов при анализе данных, характеризующих свойства почв [37]. Для объединения был применен метод невзвешенного парного среднего, в качестве меры расстояния использовано Евклидово расстояние. Были получены природный и природно-техногенный кластеры.

На основании статистической обработки полученных данных и результатов кластерного анализа выполнено природно-техногенное геохимическое районирование края с использованием программы ArcGIS 10.4. Районы выделялись относительно геохимической специализации и сформировавшейся ассоциации элементов (элементы, которые относительно геохимического фона Пермского края накапливаются). Геохимическая специализация определялась в соответствии с классификацией В.М. Гольдшмидта [38].

Ассоциации элементов, которые аккумулируются в почвах на территории природных районов, установлены относительно фона Пермского края. Рассчитывался коэффициент концентрации (КК) и коэффициент рассеивания (КР).

В ассоциацию включались элементы с $КК \geq 1,1$. Для названия ассоциации на первое место ставились элементы с большим КК. Если в ассоциации отмечено 5 и более элементов, то к названию добавлялось, что она является полиметаллической.

Обсуждение результатов

В табл. 1 представлены данные о фоновом содержании элементов в почвах Пермского края. Предварительные данные по содержанию элементов были опубликованы ранее [39], но после пересмотрены в некоторых своих частях и уточнены в данной статье.

Экология и природопользование
Дзюба Е.А.

Таблица 1

Региональное фоновое содержания макро- и микроэлементов
на территории Пермского края в гумусовом горизонте
Regional background content of macro- and microelements in the Perm Territory in the humus horizon

Элементы	Показатели, мг/кг	Пермский край	I – Северный Урал	II – Западный Урал	III – Средняя тайга	IV – Южная тайга	V – Хвойно-широколиственных лесов	VI – Кунгурская лесостепь
	<i>n</i>	300	35	40	44	50	45	86
Sr	$\bar{x} \pm P$	238±10	85±14	186±25	229±23	290±22	229±23	239±12,3
Pb	$\bar{x} \pm P$	15±1	18±3	17±2	16±2	15±1	12±1	15±1
As	$\bar{x} \pm P$	7,5±1	6,9±1	7±1	5,8±1	7,8±1	8,4±1	7,7±1
Zn	$\bar{x} \pm P$	59±2	55±8	67±9	47±5	65±5	62±5	56±3
Ni	$\bar{x} \pm P$	41±2	31±3	40±5	16±2	35±3	52±5	46±2
Co	$\bar{x} \pm P$	14±1	11±1	8±1	6±1	9±1	8±1	24±1
Fe	$\bar{x} \pm P$	24500±700	29200±3400	29800±3600	22300±1800	23600±1400	25200±2300	23400±1000
Mn	$\bar{x} \pm P$	762±27	376±35	517±61	828±52	768±61	866±68	796±41
Cr	$\bar{x} \pm P$	127±3	141±7	135±6	105±8	124±6	148±10	126±4
V	$\bar{x} \pm P$	65±3	87±14	100±13	60±6	60±4	57±5	63±4
Ti	$\bar{x} \pm P$	4200±100	5200±600	4900±500	4100±300	4000±200	4000±300	4200±200

Относительно фона Пермского края в природных районах формируются следующие ряды аккумулярования: Северный Урал: $\frac{V}{1,3} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} > \frac{Cr}{1,1}$; Западный Урал: $\frac{V}{1,5} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{Cr}{1,1}$; Средняя тайга: $\frac{Mn}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$; Южная тайга: $\frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$; Хвойно-широколиственных лесов: $\frac{Ni}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Mn}{1,1} = \frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$; Кунгурская лесостепь: $\frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$.

В табл. 2 представлены данные о среднем содержании элементов на территориях, подверженных техногенному воздействию: добыча нефти, добыча калийных солей, добыча угля и ликвидация угольных шахт.

Таблица 2

Среднее содержание макро- и микроэлементов в результате техногенной нагрузки в гумусовом горизонте
The average content of macro- and microelements as a result of technogenic load in the humus horizon

Элементы	Показатели, мг/кг	Добыча нефти (территории месторождений нефти)	Добыча калийных солей (территория Верхнекамского месторождения калийных солей)	Добыча угля (территория Кизеловского угольного бассейна)
	<i>n</i>	146	129	103
Sr	$\bar{x} \pm \sigma$	289±141	300±15	221±26
Pb	$\bar{x} \pm \sigma$	17,8±6,1	15,2±1,1	16,2±3,1
As	$\bar{x} \pm \sigma$	7,2±3,7	6,3±0,7	10,3±3,5
Zn	$\bar{x} \pm \sigma$	69±16,9	78±7,2	80±7,8
Ni	$\bar{x} \pm \sigma$	54±15,9	31±3,9	69±9,3
Co	$\bar{x} \pm \sigma$	7,6±2,9	18,9±4,3	24,2±2,8
Fe	$\bar{x} \pm \sigma$	23265±6300	28256±2500	24558±2000
Mn	$\bar{x} \pm \sigma$	1058±376	1002±110	1093±155
Cr	$\bar{x} \pm \sigma$	132±22,7	152±15,6	178±20
V	$\bar{x} \pm \sigma$	62±18	78±8,8	80±12
Ti	$\bar{x} \pm \sigma$	4003±	3996±80	4673±230

Экология и природопользование
Дзюба Е.А.

В результате добычи калийных солей на территории Верхнекамского месторождения относительно фона Пермского края формируется ряд накопления $\frac{Co}{1,4} > \frac{Zn}{1,3} = \frac{Mn}{1,3} = \frac{Sr}{1,3} > \frac{V}{1,2} = \frac{Cr}{1,2} = \frac{Fe}{1,2}$; в пост-техногенный период на территории Кизеловского угольного бассейна отмечается ряд $\frac{Co}{1,7} = \frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$.

При нефтедобыче в почвах аккумулируется следующая ассоциация $\frac{Mn}{1,4} > \frac{Ni}{1,3} > \frac{Sr}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} = \frac{Zn}{1,2}$. Нефтяные месторождения расположены на большей части Пермского края локально, кроме того, значительная часть территории месторождений по геохимическому составу не отличается от показателей соответствующего природного района. Поэтому считаем нецелесообразным учитывать распространение добычи углеводородов для природно-техногенного районирования края.

В результате проведения кластерного анализа (рис. 2) можно говорить об основных факторах, влияющих на формирование геохимических особенностей территории региона.

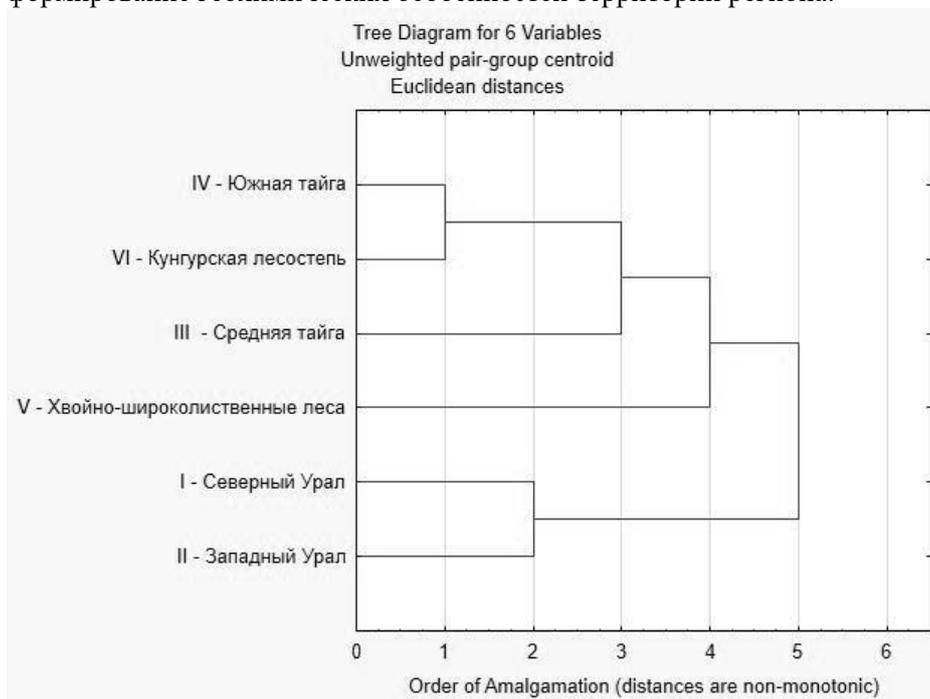


Рис. 2. Результаты кластерного анализа (природные кластеры)
Fig.2. Results of cluster analysis (natural clusters)

По данным о распределении химических элементов в природных районах (рис. 2) выделяются следующие ранги кластеризации и факторы их формирования.

Фактором первого ранга является изменение макрорельефа. Пространственная дифференциация происходит на горную и равнинную часть. Отдельно выделяются районы, на территории которых рельеф характеризуется как среднегорный, низкогорный и предгорный (Северный Урал и Западный Урал). Остальные районы находятся на низменной и равнинной части края.

Второй ранг представлен биоклиматическим фактором, который в свою очередь отражает комплекс климатических характеристик, влияющих на биоценотическую структуру территории. На этом уровне природные районы низменной и равнинной части края разделились на две группы, где отдельно выделяется район Хвойно-широколиственных лесов (наиболее южный район края, зона подтайги) и объединяются в одну группу Средняя и Южная тайга, Кунгурская лесостепь. Несомненно, представляет интерес Кунгурская реликтовая лесостепь, которая по геохимическому спектру более тяготеет к таежной зоне, чем к хвойно-широколиственным лесам.

Включение в кластеризацию территорий (ВКМС и КУБ), где формирование геохимических особенностей происходит под влиянием техногенной нагрузки (рис. 3), позволяет определить ее значимость по сравнению с природными факторами. Проводится ранжирование значимости, соотношение различных природных и техногенных факторов.

Экология и природопользование

Дзюба Е.А.

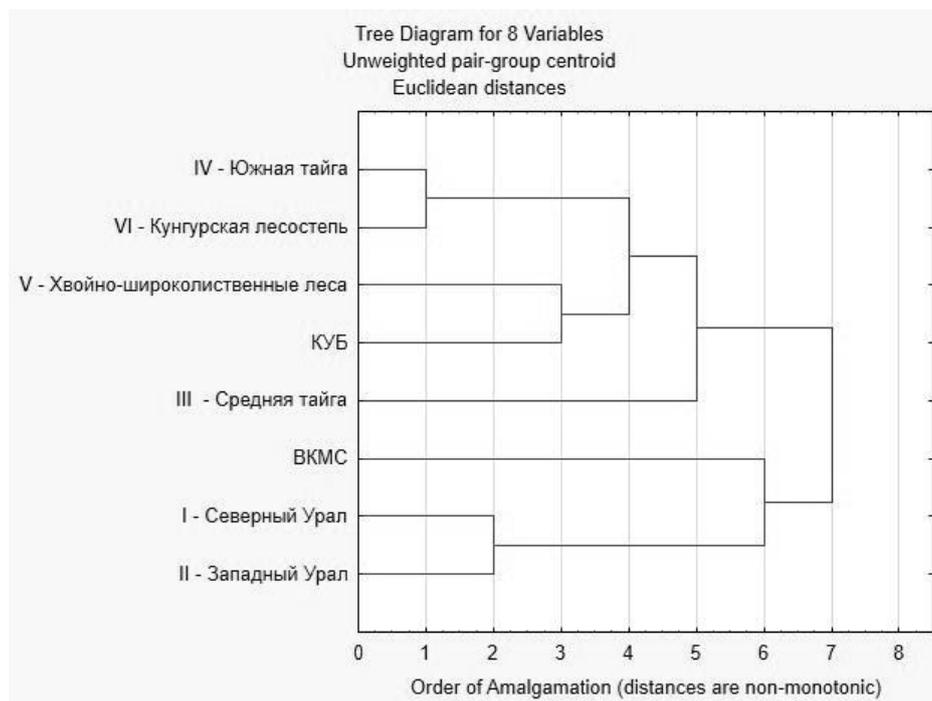


Рис. 3. Результаты кластерного анализа (природно-техногенные кластеры)

Fig.3. Results of cluster analysis (natural-technogenic clusters)

Факторами первого ранга также остаются геоморфологический и орографический. Изменение рельефа, следовательно, особенностей подстилающих пород и т.п. оказывает самое сильное влияние на геохимические особенности территории, что подтверждается и похожими исследованиями [40]. Интересно, что в данном случае мы наблюдаем то, что территория ВКМС объединяется с территорией среднегорий, низкогорий и предгорий, хотя находится на предгорной равнинной части края. А территории КУБ, наоборот, находясь в предгорной территории, встают в кластер с равнинными районами.

В качестве уровня второго ранга выбрано техногенное перераспределение химических элементов под воздействием добычи калийных солей. Этот техногенный фактор более существенный, чем биоклиматическое влияние на почвенный покров.

Биоклиматические особенности средней тайги выделяются на уровне фактора третьего ранга.

Посттехногенная трансформация природной среды угольного бассейна стала фактором четвертого уровня пространственной дифференциации региона, находится по уровню сходства между средней тайгой и хвойно-широколиственными лесами.

Такое размещение в кластере двух природно-техногенных районов говорит о проявлении техногенного фактора и о мощности изменений, которые происходят при его влиянии. Природно-техногенные районы КУБ и ВКМС становятся значительно отличными по геохимическим свойствам от природного района, в границах которого располагаются. Значимость геохимических особенностей этих территорий достигает уровня района.

В табл. 3 представлены результаты по оценке значимости различий в фоновых содержаниях природных районов и средних содержаниях изученных территорий, находящихся под воздействием техногенеза. Территории КУБа и ВКМС имеют значимые отличия как от природных районов, на территории которых они находятся, так и в целом от регионального фона Пермского края. При сопоставлении КУБа с фоном Западного Урала было получено, что нет значимых различий только относительно содержания Рb. ВКМС не имеет значимых различий с Южной тайгой по содержанию Sr и Рb. Рb на данных территориях находится в рассеянном состоянии. Накопление Sr на территории ВКМС обусловлено природными факторами и общим геохимическим фоном природного района.

Экология и природопользование

Дзюба Е.А.

Таблица 3

Элементы, разница по содержанию которых между исследуемыми территориями и фоновыми имеет достоверную значимость относительно t-критерия Стьюдента
Elements the difference in the content of which between the studied and the background territories is reliably significant relative to the Student's t-test

	Кизеловский угольный бассейн	Верхнекамское месторождение калийных солей
Пермский край	Sr, Pb, As, Zn, Ni, Co, Mn, Cr, V, Ti	Sr, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti
II – Западный Урал	Sr, As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti	
IV – Южная тайга		As, Zn, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti

В табл. 4 представлены классификационные признаки и индексы, использованные для разделения районов.

Таблица 4

Классификационные признаки природно-техногенного районирования Пермского края
Classification features of natural and technogenic zoning of the Perm Territory

Признак	Виды признака
Характер рельефа	I. Среднегорный, низкогорный и предгорный II. Низменный и равнинный
Природные особенности (природный район, в границах которого расположен геохимический район)	I. Северный Урал II. Западный Урал III. Средняя тайга IV. Южная тайга V. Хвойно-широколиственных лесов VI. Кунгурская лесостепь
Геохимическая специализация	1) Лито-сидеро-халькофильная 2) Лито-халькофильная 3) Сидеро-халько-литофильная 4) Сидеро-халькофильная 5) Сидеро-лито-халькофильная 6) Сидерофильная
Ассоциация элементов	a) Ванадиево-полиметаллическая b) Ванадиево-цинково-полиметаллическая c) Кобальт-марганцево-полиметаллической d) Кобальт-никелевая e) Кобальт-полиметаллическая f) Марганцево-свинцовая g) Никелево-полиметаллическая h) Стронциево-цинковая

На рис. 4 представлено полученное по результатам исследования природно-техногенное районирование Пермского края по геохимическим особенностям. Были выделены следующие природно-техногенные геохимические районы:

I-1-b Северный Урал лито-сидеро-халькофильной специализации с ванадий-цинково-полиметаллической ассоциацией;

II-1-a Западный Урал лито-сидеро-халькофильной специализации с ванадий-полиметаллической ассоциацией;

II-3-c Кизеловский угольный бассейн сидеро-халько-литофильной специализации с кобальт-марганцево-полиметаллической ассоциацией;

III-4-f Средняя тайга сидеро-халькофильной специализации с марганцево-свинцовой ассоциацией;

IV-2-h Южная тайга лито-халькофильной специализации со стронций-цинковой ассоциацией;

IV-5-e Верхнекамское месторождение калийных солей сидеро-лито-халькофильной специализации с кобальт-полиметаллической ассоциацией;

V-5-g Хвойно-широколиственных лесов сидеро-лито-халькофильной специализации с никелево-полиметаллической ассоциацией;

VI-6-d Кунгурская лесостепь сидерофильной специализации с кобальт-никелевой ассоциацией.

Экология и природопользование
Дзюба Е.А.

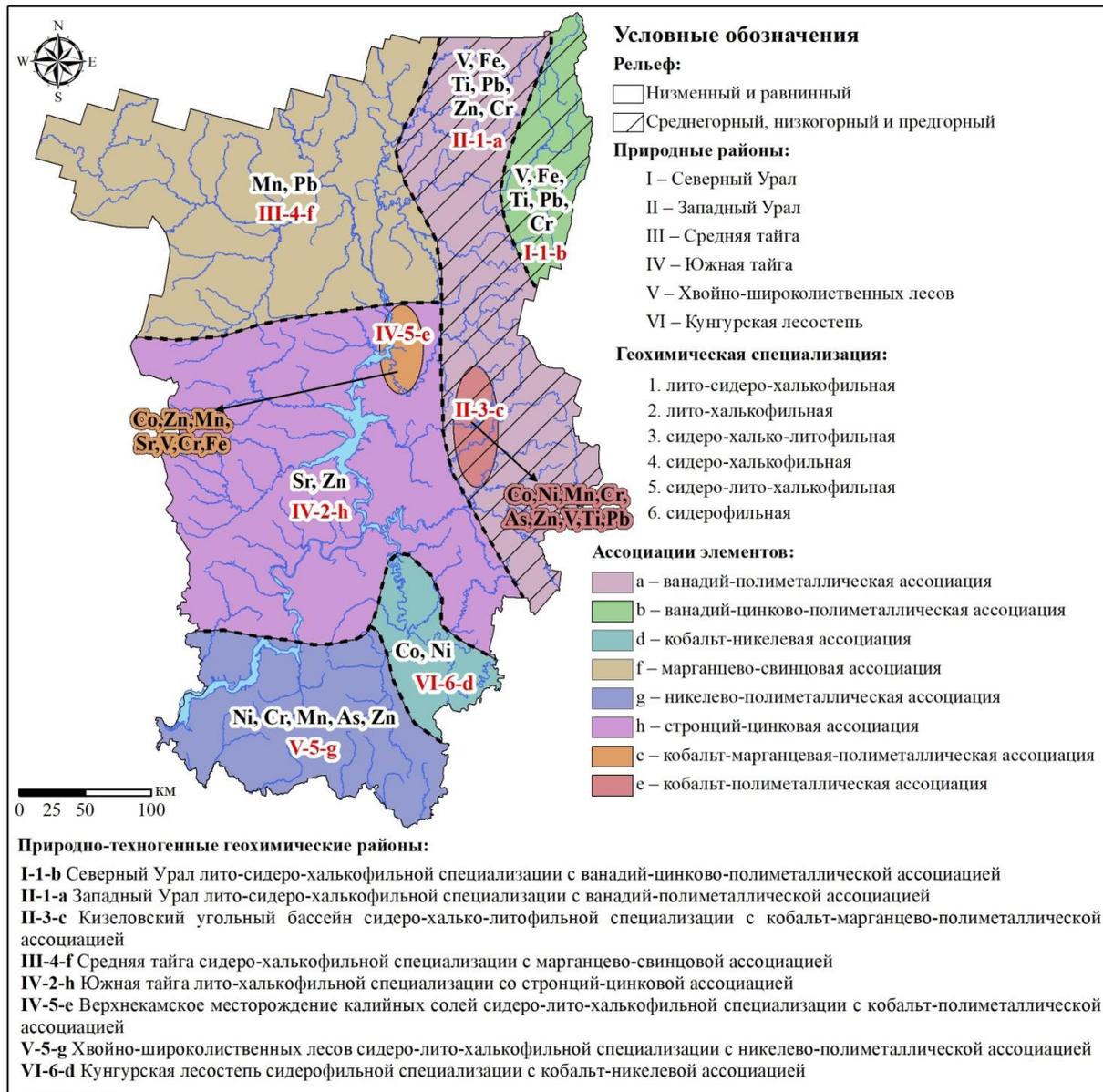


Рис. 4. Природно-техногенное геохимическое районирование Пермского края
Fig.4. Natural-technogenic geochemical zoning of the Perm Territory

Заключение

Пространственная дифференциация геохимического состава гумусового горизонта на территории Пермского края позволяет выделить 8 природно-техногенных районов: Северного Урала, Западного Урала, Средней тайги, Южной тайги, Хвойно-широколиственных лесов, Кунгурской лесостепи, Верхнекамского месторождения калийных солей, Кизеловского угольного бассейна.

Геохимический спектр природно-техногенных районов:

- Северный Урал: $KK = \frac{V}{1,3} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} = \frac{Pb}{1,2} > \frac{Cr}{1,1}$;
- Западный Урал: $KK = \frac{V}{1,5} > \frac{Fe}{1,2} = \frac{Ti}{1,2} > \frac{Pb}{1,1} = \frac{Zn}{1,1} = \frac{Cr}{1,1}$;
- Средняя тайга: $KK = \frac{Mn}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$;
- Южная тайга: $KK = \frac{Sr}{1,2} > \frac{Zn}{1,1}$;
- Хвойно-широколиственных лесов: $KK = \frac{Ni}{1,3} > \frac{Cr}{1,2} > \frac{Mn}{1,1} = \frac{As}{1,1} = \frac{Zn}{1,1}$;

Экология и природопользование

Дзюба Е.А.

– Кунгурской лесостепи: $KK = \frac{Co}{1,7} > \frac{Ni}{1,1}$;

– Верхнекамского месторождения калийных солей: $KK = \frac{Co}{1,4} > \frac{Zn}{1,3} = \frac{Mn}{1,3} = \frac{Sr}{1,3} > \frac{V}{1,2} = \frac{Cr}{1,2} = \frac{Fe}{1,2}$;

– Кизеловского угольного бассейна: $KK = \frac{Co}{1,7} = \frac{Ni}{1,7} > \frac{Mn}{1,4} = \frac{Cr}{1,4} = \frac{As}{1,4} = \frac{Zn}{1,4} > \frac{V}{1,2} > \frac{Ti}{1,1} = \frac{Pb}{1,1}$.

Кластер-анализ позволил выделить иерархию факторов, которые определяют геохимическую дифференциацию территории региона: макрорельеф – техногенез при добыче калийной соли – особенности биоклиматического режима средней тайги – посттехногенез после добычи каменного угля – биоклиматические параметры природных районов.

Природно-техногенное районирование Пермского края отражает современное состояние и особенности протекания геохимических процессов.

Наиболее существенным фактором техногенеза является добыча калийных солей. Посттехногенная трансформация природной среды после ликвидации угольных шахт по своей мощности соответствует биоклиматическим факторам.

Необходимы сплошные геохимические обследования окружающей среды Верхнекамского месторождения калийной соли, Кизеловского угольного бассейна для определения границ распространения техногенеза, посттехногенеза, экологических рисков, определения оптимальных способов восстановления биогеоценотического покрова.

Целесообразным видится проведение лабораторных экспериментов по устойчивости почв и растений степи к битузации, определение допустимого количества остаточной нефти в черноземах.

Устойчивое развитие региона обеспечивается в значительной мере соблюдением экологической безопасности при добыче углеводородов. Создание эффективной ГИС-модели для обеспечения экологической безопасности при добыче углеводородов остается существенной целью геоэкологических исследований.

Библиографический список

1. Алексеев В.А. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области. М.: Логос, 2002. 312 с.
2. Андреев Д.Н., Шатрова А.И. Нефтепромысловые объекты в Пермском крае // Антропогенная трансформация природной среды. 2019, № 5. С. 3–7.
3. Артамонова В.С., Бортникова С.Б. Экологические аспекты рекультивации почв на отвалах вскрышных пород в районах угледобычи // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8, № 1. С. 48–57. doi: 10.17072/2410-8553-2022-1-48-57.
4. Бачурин Б.А. Эколого-геохимическая оценка продуктов деградации нефти в условиях гипергенеза // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. № 5. С. 8–14.
5. Бузмаков С.А. Сеть особо охраняемых природных территорий Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2020. № 3 (54). С. 135–148. doi: 10.17072/2079-7877-2020-3-135-148.
6. Бузмаков С.А., Зайцев А.А., Санников П.Ю. Актуальное состояние сети ООПТ Пермского края // Вопросы степеведения. 2019. № 15. С. 55–58.
7. Гамм Т.А., Гамм А.А. Исследование закономерностей распространения от источника загрязнения тяжелых металлов и нефтепродуктов на месторождении нефти. Наука и мир. 2015. № 2-1 (18). С. 109–112.
8. Голик В.И., Заилишвили В.Б., Разоренов Ю.И. Проблемы региональной экологии Восточного Донбасса // Проблемы региональной экологии. 2014. № 3. С. 55–59.
9. Дзюба Е.А. Определение местного фонового содержания некоторых макро- и микроэлементов в почвах Пермского края // Географический вестник = Geographical bulletin. 2021. № 1 (56). С. 95–108. doi: 10.17072/2079-7877-2021-1-95-108.
10. Лискова М.Ю. Негативное воздействие, оказываемое на окружающую среду предприятиями по добыче и обогащению калийно-магниевых солей. Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2017. Т. 16, № 1. С. 82–88. doi: 10.15593/2224-9923/2017.1.9.
11. Овеснов С.А., Ефимик Е.Г., Санников П.Ю. Предварительный список редких лесных экосистем Пермского края // Устойчивое лесопользование. 2020. № 4 (63). С. 30–38.
12. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. 248 с.
13. Самофалова И.А. Агроэкологическая оценка техногенно-засоленных почв на территории Аптугайского нефтяного месторождения // Антропогенная трансформация природной среды. 2019. № 5. С. 51–55.
14. Санников П.Ю., Бузмаков С.А. Перспективы развития сети особо охраняемых природных территорий Пермского края: монография. Пермь: Изд-во ПГНИУ, 2015. 173 с.
15. Сивков Д.Е., Санников П.Ю. Геоинформационная база данных «Особо охраняемые территории и объекты Пермского края» // Антропогенная трансформация природной среды. 2018. № 4. С. 104–106.
16. Турковская О.В., Муратова А.Ю., Дубровская Е.В., Бондаренкова А.Д., Любунь Е.В. Фиторемедиационный потенциал сорго веничного для очистки земель от углеводородов нефти и тяжелых металлов. Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 50–54. doi: 10.28983/asj.y2020i12pp50-54.
17. Хайрулина Е.А., Митракова Н.В., Новоселова Л.В., Порошина Н.В. Трансформация почвенно-растительного покрова в результате влияния изливающихся древних рассолоподъемных скважин на территории Пермского края. Географический вестник = Geographical Bulletin. 2021. № 4 (59). С. 113–129. doi: 10.17072/2079-7877-2021-4-113-129.

Экология и природопользование

Дзюба Е.А.

18. Ahmadi M., Jorfi S., Azarmansuri A., Jaafarzadeh N., Mahvi A.H., Darvishi Cheshmeh Soltani R., Akbari H.R., Akhbarizadeh R. Zoning of heavy metal concentrations including Cd, Pb and As in agricultural soils of Aghili plain, Khuzestan province, Iran. Data in Brief. 2017. Vol. 14. P. 20–27. doi: 10.1016/j.dib.2017.07.008.
19. Ayari J., Barbieri M., Barhoumi A., Belkhiria W., Braham A., Dhaha F., Charef A. A regional-scale geochemical survey of stream sediment samples in Nappe zone, northern Tunisia: Implications for mineral exploration. Journal of Geochemical Exploration. 2022. doi: 10.1016/j.gexplo.2022.106956.
20. Azimov O., Bunina A., Karmazynenko S. Geoinformation aspects of the surface relief impact on the secondary redistribution of industrial pollutions in soils. 2018. doi: 10.3997/2214-4609.201801812.
21. Buzmakov S., Egorova D., Gatina E. Effects of crude oil contamination on soils of the Ural region // Journal of Soils and Sediments. 2019. No. 19 (1). P. 38–48. doi: 10.1007/s11368-018-2025-0.
22. Eremchenko O.Z., Moskvina N.V., Mitrakova N.V., Efimik E.G., Shestakov I.E. A multifaceted approach to assessing the effectiveness of remediating oil-contaminated soils // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2021. Vol. 6, No. 4. P. 26–40. doi: 10.21685/2500-0578-2021-4-3.
23. Gao H. Agricultural Soil Data Analysis Using Spatial Clustering Data Mining Techniques // 2021 IEEE 13th International Conference on Computer Research and Development (ICCRD). 2021. P. 83–90. doi: 10.1109/ICCRD51685.2021.9386553.
24. Jung H.-S., Lim D., Xu Z., Kim J., Lee J., Jeong D. Zoning of coastal environments based on sediment textural and geochemical characteristics and their major oceanographic constraints: A case study in South Korea. Journal of Asian Earth Sciences. 2021. doi: 10.1016/j.jseas.2021.104883.
25. Khayrulina E., Bogush A., Novoselova L., Mitrakova N. Properties of Alluvial Soils of Taiga Forest under Anthropogenic Salinisation // Forests. 2021. 12(3): 321. doi: 10.3390/f12030321.
26. Khayrulina E.A., Khmurchik V.T., Maksimovich N.G. The Kizel Coal Basin (The Western Urals, Russia): Environmental problems and Solutions. Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference. 2016. P. 761–767.
27. Long J., Tan D., Deng S., Lei M. Pollution and ecological risk assessment of antimony and other heavy metals in soils from the world's largest antimony mine area, China. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal. 2018. doi: 10.1080/10807039.2017.1396531.
28. Magno M., Luffman I., Nandi A. Evaluating spatial regression-informed cokriging of metals in soils near abandoned mines in bampus cove, Tennessee, USA. Geosciences. 2021. Vol. 11. doi: 10.3390/geosciences11110434.
29. Martínez-López S., Martínez-Sánchez M.J., Gómez-Martínez M.D., Pérez-Sirvent C. Arsenic zoning in a coastal area of the Mediterranean Sea as a base for management and recovery of areas contaminated by old mining activities. Applied Clay Science. 2020. 199. 105881. doi: 10.1016/j.clay.2020.105881.
30. Nassiri O., Láarabi E.L., Hachimi M., Ambrosi J.P., Rhoujjati A. Contamination impact and human health risk in surface soils surrounding the abandoned mine of Zeïda, High Moulouya, Northeastern Morocco. Environment Development and Sustainability. 2021. No. 23 (1). doi: 10.1007/s10668-021-01380-6.
31. Opekunov A., Opekunova M., Kukushkin S., Lisenkov S. Impact of drilling waste pollution on land cover in a high subarctic forest-tundra zone // Pedosphere. 2022. Vol. 32. P. 414–425. doi: 10.1016/S1002-0160(21)60083-8.
32. Pashkevich M.A., Bech J., Matveeva V.A., Alekseenko A.V. Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg. 2020. doi:10.31897/pmi.2020.1.125.
33. Podlipskiy I.I., Dubrova S.V., Zelenkovskiy P., Lebedev S.V., Izosimova O.S., Chernova E.N., Nesterov E., Egorov P. Geoecological zoning of modern geological objects composed of technogenic soils. Distribution of Zn, Cu, Pb, Fe, Hg and As in technogenic dispersed soils and bottom sediments. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/579/1/012016.
34. Rezaei M., Mehdinia A., Saleh A., Modabberi S., Mansouri Daneshvar M.R. Environmental assessment of heavy metal concentration and pollution in the Persian Gulf. Modeling Earth Systems and Environment. 2021. doi: 10.1007/s40808-020-00913-8.
35. Rezaei H., Mehrabi B., Khanmirzaee A., Shahbazi K. Arsenic heavy metal mapping in agricultural soils of Alborz province, Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2019. 101. P. 127–139. doi:10.1080/03067319.2019.1661398.
36. Silva R.J., Silva Y.J., Straaten P., Nascimento C.W., Biondi C.M., Silva Y.J., Araújo Filho J.C. Influence of parent material on soil chemical characteristics in a semi-arid tropical region of Northeast Brazil. Environmental Monitoring and Assessment. 2022. 194. doi: 10.1007/S10661-022-09914-9194(5)331.
37. Solgi E., Jalili M.J. Zoning and human health risk assessment of arsenic and nitrate contamination in groundwater of agricultural areas of the twenty two village with geostatistics (Case study: Chahardoli Plain of Qorveh, Kurdistan Province, Iran). Agricultural Water Management. 2021. Vol. 255. doi: 10.1016/J.AGWAT.2021.107023.
38. Vodyanitskii Y.N. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review) // Eurasian Soil Science. 2013. Vol. 46, No. 7. P. 793–801. doi: 10.1134/S1064229313050153.
39. Wang R., Hou W., Li Y., Yu T., Chen J. Land Safety Zoning Method in High-Selenium and High-Cadmium Areas. Huan jing ke xue= Huanjing kexue. 2019. 40 (12). P. 5524–5530. doi: 10.13227/j.hjkk.201905006.
40. Yu L., Zhang F., Zang K., He L., Wan F., Liu H., Zhang X., Shi Z. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Cultivated Land Based on Soil Geochemical Zoning: Yishui County, North China Case Study. Water. 2021. doi: 10.3390/w13233322.

References

- Alekseenko, V.A. (2012). *Metally v okruzhayushchej srede. Pochvy geohimicheskikh landshaftov Rostovskoj oblasti* [Metals in the environment. Soils of geochemical landscapes of the Rostov region], Logos, Moscow, Russia.
- Andreev, D.N., Shatrova A.I. (2019). "Oil industrial facilities in Perm region", *Anthropogenic transformation of the natural environment*, no 5, pp. 3-7.
- Artamonova, V.S., Bortnikova, S.B. (2022). "Ecological aspects of soil reclamation on overburden dumps in coal mining areas", *Anthropogenic transformation of the natural environment*, vol. 8, no 1, pp. 48-57, <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-48-57>.
- Bachurin, B.A. (2019). "Ecology-geochemical estimation of oil degradation products under the hypergenesis condition", *Anthropogenic transformation of the natural environment*, no 5, pp. 8-14.

Экология и природопользование

Дзюба Е.А.

5. Buzmakov, S.A. (2020). "Network of protected natural areas in the Perm region", *Geographical bulletin*, vol. 54, no 3, pp. 135–148. doi 10.17072/2079-7877-2020-3-135-148.
6. Buzmakov, S.A., Zajcev, A.A. and Sannikov, P.Yu. (2019), "Actual condition of the network of specially protected natural territories of the Perm territory", *Steppe science*, no. 15. pp. 55–58.
7. Gamm, T.A., Gamm, A.A. (2015). "Research of distribution regularities from the pollution source of heavy metals and oil products on the oil field", *Science and peace*, vol. 18, no 2-1, pp. 109-112.
8. Golik, V.I., Zaalishvili, V.I., Razorenov, Yu.I. (2014). "Problems of regional ecology of the eastern Donbass", *Problems of regional ecology*, no 3, pp. 55-59.
9. Dziuba, E.A., (2021). "Determination of local background content of some macro- and microelements in the soils of the Perm region", *Geographical bulletin*, vol. 56, no 1, pp. 95-108, DOI: 10.17072/2079-7877-2021-1-95-108.
10. Liskova, M.Yu. (2017). "Negative impact on the environment caused by companies that mine and process potassium and magnesium salts", *Bulletin of the Perm national research polytechnic university. Geology. Oil and gas and mining*, vol. 16, no 1, pp. 82–88, DOI: 10.15593/2224-9923/2017.1.9.
11. Ovesnov, S.A., Efimik E.G. and Sannikov P.Yu. (2020), "Preliminary list of rare forest ecosystems of the Perm region", *Sustainable forest management*, no.4 (63), pp. 30–38.
12. Ovchinnikov, L.N. (1990), *Prikladnaya geokhimiya* [Applied Geochemistry], Nedra, Moscow, Russia.
13. Samofalova, I.A. (2019). "Agro-environmental assessment of technogenically sedicate soils on the territory of the Aptugaya oilfield", *Anthropogenic transformation of the natural environment*, no 5, pp. 51-55.
14. Sannikov P.Yu. and Buzmakov S.A. (2015), *Perspektivy razvitiya seti osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy Permskogo kraia* [Prospects for the development of a network of specially protected natural areas of the Perm Territory], Perm state university, Perm, Russia.
15. Sivkov, D.E. and Sannikov, P.Yu. (2018), "Geoinformation database "Specially protected areas and objects of the Perm region", *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy*, no. 4, pp.104–106 Chusovoy)", *Geographical bulletin*, no.4(55), pp. 152–165.
16. Turkovskaya, O.V., Muratova, A.Yu., Dubrovskaya E.V., Bondarenkova, A.D., Lyubun, E.V. (2020). "Phytoremediation potential of sorghum bicolor for soil decontamination from oil hydrocarbons and heavy metals", *Agricultural scientific journal*, no 12, pp. 50-54, DOI: 10.28983/asj.y2020i12pp50-54.
17. Khayrulina, E.A., Mitrakova, N.V., Novoselova, L.V., Poroshina N.V. (2021). "Soil and vegetation transformation under the influence of the pouring out ancient brine wells in Perm krai", *Geographical Bulletin*, vol. 59, no 4, pp. 113-129, DOI: 10.17072/2079-7877-2021-4-113-129.
18. Ahmadi, M., Jorfi, S., Azarmansuri, A., Jaafarzadeh, N., Mahvi, A.H., Darvishi Cheshmeh Soltani, R., Akbari, H. and Akhbarzadeh, R. (2017). Zoning of heavy metal concentrations including Cd, Pb and As in agricultural soils of Aghili plain, Khuzestan province, Iran. *Data in Brief*, Vol. 14, pp.20–27. doi:https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.07.008.
19. Ayari, J., Barbieri, M., Barhoumi, A., Belkhiria, W., Braham, A., Dhaha, F. and Charef, A. (2022). A regional-scale geochemical survey of stream sediment samples in Nappe zone, northern Tunisia: Implications for mineral exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 235, p.106956. doi:https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.106956.
20. Azimov, O.T., Bunina, A.Ya. and Karmazynenko, S.P. (2018). Geoinformation aspects of the surface relief impact on the secondary redistribution of industrial pollutions in soils. *Proceedings*. doi:https://doi.org/10.3997/2214-4609.201801812.
21. Buzmakov, S., Egorova, D. and Gatina, E. (2018). Effects of crude oil contamination on soils of the Ural region. *Journal of Soils and Sediments*, 19(1), pp.38–48. doi:https://doi.org/10.1007/s11368-018-2025-0.
22. Eremchenko, O.Z., Moskvina, N.V., Mitrakova, N.V., Efimik, E.G. and Shestakov, I.E. (2021). A multifaceted approach to assessing the effectiveness of remediating oil-contaminated soils. *Russian journal of ecosystem ecology*, (4). doi:https://doi.org/10.21685/2500-0578-2021-4-3.
23. Gao, H. (2021). Agricultural Soil Data Analysis Using Spatial Clustering Data Mining Techniques. doi:https://doi.org/10.1109/iccd51685.2021.9386553.
24. Jung, H.-S., Lim, D., Xu, Z., Kim, J., Lee, J. and Jeong, D. (2021). Zoning of coastal environments based on sediment textural and geochemical characteristics and their major oceanographic constraints: A case study in South Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 218, p.104883. doi:https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104883.
25. Khayrulina E., Bogush A., Novoselova L., Mitrakova N. Properties of Alluvial Soils of Taiga Forest under Anthropogenic Salinisation // *Forests*. 2021. 12(3): 321. doi: 10.3390/f12030321.
26. Khayrulina E.A., Khmurchik V.T., Maksimovich N.G. The Kizel Coal Basin (The Western Urals, Russia): Environmental problems and Solutions. *Mining Meets Water – Conflicts and Solutions. Proceedings IMWA2016 Annual Conference*. 2016. P. 761–767.
27. Long J., Tan D., Deng S., Lei M. Pollution and ecological risk assessment of antimony and other heavy metals in soils from the world's largest antimony mine area, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2018. doi: 10.1080/10807039.2017.1396531.
28. Magno M., Luffman I., Nandi A. Evaluating spatial regression-informed cokriging of metals in soils near abandoned mines in bumpus cove, Tennessee, USA. *Geosciences*. 2021. Vol. 11. doi: 10.3390/geosciences11110434.
29. Martínez-López S., Martínez-Sánchez M.J., Gómez-Martínez M.D., Pérez-Sirvent C. Arsenic zoning in a coastal area of the Mediterranean Sea as a base for management and recovery of areas contaminated by old mining activities. *Applied Clay Science*. 2020. 199. 105881. doi: 10.1016/j.clay.2020.105881.
30. Nassiri O., Láarabi E.L., Hachimi M., Ambrosi J.P., Rhoujjati A. Contamination impact and human health risk in surface soils surrounding the abandoned mine of Zeïda, High Moulouya, Northeastern Morocco. *Environment Development and Sustainability*. 2021. No. 23 (1). doi: 10.1007/s10668-021-01380-6.
31. Opekunov A., Opekunova M., Kukushkin S., Lisenkov S. Impact of drilling waste pollution on land cover in a high subarctic forest-tundra zone // *Pedosphere*. 2022. Vol. 32. P. 414–425. doi: 10.1016/S1002-0160(21)60083-8.

Экология и природопользование

Дзюба Е.А.

32. Pashkevich M.A., Bech J., Matveeva V.A., Alekseenko A.V. Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg. 2020. doi:10.31897/pmi.2020.1.125.
33. Podlipskiy I.I., Dubrova S.V., Zelenkovskiy P., Lebedev S.V., Izosimova O.S., Chernova E.N., Nesterov E., Egorov P. Geoecological zoning of modern geological objects composed of technogenic soils. Distribution of Zn, Cu, Pb, Fe, Hg and As in technogenic dispersed soils and bottom sediments. 2020. doi: 10.1088/1755-1315/579/1/012016.
34. Rezaei M., Mehdinia A., Saleh A., Modabberi S., Mansouri Daneshvar M.R. Environmental assessment of heavy metal concentration and pollution in the Persian Gulf. Modeling Earth Systems and Environment. 2021. doi: 10.1007/s40808-020-00913-8.
35. Rezaei H., Mehrabi B., Khanmirzaee A., Shahbazi K. Arsenic heavy metal mapping in agricultural soils of Alborz province, Iran. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2019. 101. P. 127–139. doi:10.1080/03067319.2019.1661398.
36. Silva R.J., Silva Y.J., Straaten P., Nascimento C.W., Biondi C.M., Silva Y.J., Araújo Filho J.C. Influence of parent material on soil chemical characteristics in a semi-arid tropical region of Northeast Brazil. Environmental Monitoring and Assessment. 2022. 194. doi: 10.1007/S10661-022-09914-9194(5)331.
37. Solgi E., Jalili M.J. Zoning and human health risk assessment of arsenic and nitrate contamination in groundwater of agricultural areas of the twenty two village with geostatistics (Case study: Chahardoli Plain of Qorveh, Kurdistan Province, Iran). Agricultural Water Management. 2021. Vol. 255. doi: 10.1016/J.AGWAT.2021.107023.
38. Vodyanitskii Y.N. Contamination of soils with heavy metals and metalloids and its ecological hazard (analytic review) // Eurasian Soil Science. 2013. Vol. 46, No. 7. P. 793–801. doi: 10.1134/S1064229313050153.
39. Wang R., Hou W., Li Y., Yu T., Chen J. Land Safety Zoning Method in High-Selenium and High-Cadmium Areas. Huan jing ke xue= Huanjing kexue. 2019. 40 (12). P. 5524–5530. doi: 10.13227/j.hjkk.201905006.
40. Yu L., Zhang F., Zang K., He L., Wan F., Liu H., Zhang X., Shi Z. Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Cultivated Land Based on Soil Geochemical Zoning: Yishui County, North China Case Study. Water. 2021. doi: 10.3390/w13233322.

Статья поступила в редакцию: 08.06.24, одобрена после рецензирования: 29.06.2024, принята к опубликованию: 12.09.2024.

The article was submitted: 8 June 2024; approved after review: 29 June 2024; accepted for publication: 12 September 2024.

Информация об авторе

Екатерина Алексеевна Дзюба

старший преподаватель кафедры
биогеоценологии и охраны природы,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет;
Россия, 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Information about the author

Ekaterina A. Dziuba

Candidate of Geographical Sciences, Associate
Professor, Department of Biogeocenology and
Nature Conservation, Perm State University;

15, Bukireva st., Perm, 614068, Russia

e-mail: aea_eco@mail.ru