

сторожениях Nechalacho (Канада) и Dubbo (Австралия).

На рис. 3 и 4 приведено распределение содержания оксидов РЗМ и тория, оксидов РЗМ и урана для месторождений, планируемых к разработке в мире. Проведенный анализ показал, что данные месторождения характеризуются широким диапазоном содержаний U в рудах — от 1 г/т до 0,4 %, Th — от 7 г/т до 3 %. При этом коэффициент корреляции U/РЗМ и Th/РЗМ составил соответственно 0,33 и 0,48.

Высокие содержания Th в основном связаны с присутствием в рудах монацита. Повышенным уровнем содержания радиоактивных элементов характеризуются руды месторождений РЗМ — Steenkampskraal (ЮАР), NolansBore (Австралия), Агаха (Бразилия), Longonjo (Ангола), Kvanefjeld (Гренландия), StrangeLake (Канада). Их разработка будет характеризоваться высоким уровнем затрат на выделение радиоактивных элементов в отдельные продукты и их безопасное хранение.

Проведен анализ, заложенных в проектах по разработке месторождений, методов и путей выделения радиоактивных элементов из технологического процесса получения РЗМ. В большинстве проектов предполагается селективное осаждение тория в гидрометаллургическом цикле и выведение его из процесса в виде железо-ториевого осадка. Вместе с тем, для ряда проектов (в частности, Nolans Bore, Kvanefjeld, Round Top) отдельно заложено производство товарной урановой продукции (кек, оксид урана).

В классификации воздействий на окружающую среду при разработке месторождений РЗМ одним из

наиболее значимых факторов является присутствие в руде и последующее выделение в технологическом процессе радиоактивных элементов. Распределение содержания радиоактивных элементов в рудах разных месторождений РЗМ определяется составом сырья, который почти во всех случаях носит многокомпонентный характер. Определяющую роль в формировании извлекаемой ценности руды играют дорогостоящие РЗМ (диспрозий, эрбий). Высокий уровень извлекаемой ценности позволяет компенсировать значительные затраты на гидрометаллургическую переработку редкоземельного сырья. Для понимания эффективности реализации проектов различных месторождений РЗМ необходим комплексный подход, включающий одновременное изучение взаимосвязанных экологических и экономических факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор рынка редкоземельных элементов (металлов) в мире. 2-е издание. — М.: ООО «Исследовательская группа «Инфомайн», 2020. URL: <http://www.infomine.ru/research/38/622> (платный доступ) (дата обращения 01.11.2020).
2. Поляков, Е.Г. *Металлургия редкоземельных металлов* / Е.Г. Поляков, А.В. Нечаев, А.В. Смирнов. — М., 2018. — 732 с.
3. Юшина, Т.И. Обзор рынка РЗМ и технологий переработки редкоземельного сырья / Т.И. Юшина, И.М. Петров, С.И. Гришаев, С.А. Черный // *Горный журнал*. — 2015. — № 2. — С. 59–64, № 3. — С. 76–81.
4. *Development of a Rare Earth Element Resource*. Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen. Dissertation von Patrick Friedrichs. 2017. — 187 p.
5. *Thorium resources as co- and by-products of rare earth deposits*, International Atomic Energy Agency. — Vienna, 2019. — 70 p.

© Шадрунова И.В., Петрова А.И., 2021

Шадрунова Ирина Владимировна
Петрова Александра Игоревна // aleks.pet.93@mail.ru

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.4.02

Кузнецова О.Г., Лаврусевич А.А., Криночкина О.К.
(«Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ))

ПРОБЛЕМА НОРМИРОВАНИЯ ВАЛОВЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРЕДЕЛАХ ЗАПАДНОГО СКЛОНА СУРА-СВЯЖСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ И МАРИЙСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Приведены исследования по валовым формам некоторых металлов в почвах западного склона Сура-Свияжского междуречья Приволжской возвышенности и Марийской низменности. Получены их сравнительные данные относительно ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) (ориентировочно-допустимый показатель). Поставлена проблема нормирования поллютантов. Пред-

лагается слаборазрушенные техногенной деятельностью человека ландшафты рассматривать в сравнении с фоновыми данными. В качестве маркеров начальной деградации использовались данные содержания тяжелых металлов: меди, свинца, цинка, никеля. Зарегистрирована повышенная концентрация меди в почвах слаборазрушенных ландшафтов гумусово-аккумулятивного горизонта, в два раза превышающая ОДК. Концентрация цинка превышала ОДК во всех пробах «эталонных» и слаборазрушенных ландшафтов в 1,5–2,5 раза. Повышенные концентрации цинка вероятнее всего связаны с загрязнением сопредельных территорий коммунально-бытовыми отходами. Концентрация никеля превышала ОДК в 4,5–6 раз. Основной из источников поступления никеля в почвы — выхлопные газы автотранспорта. Таким образом, слаборазрушенные ландшафты характеризовались превышением ОДК для меди, цинка и никеля. **Ключевые слова:** тяжелые металлы, Сура-Свияжское междуречье Приволжской возвышенности, ОДК, ПДК, фоновые данные.

THE PROBLEM OF NORMALIZING GROSS CONCENTRATIONS OF HEAVY METALS WITHIN THE WESTERN SLOPE OF THE SURA-SVIAZHISKY INTERRULE OF THE VOLGA ELEVATION AND MARI LOWLAND

*Studies are given on the gross forms of some metals in the soils of the western slope of the Sura-Sviyazhsky interfluvium of the Volga Upland and the Mari Lowland. Comparison of data with UDC. The problem of rationing pollutants is posed. It is proposed to consider landscapes weakly damaged by man-made activities in comparison with background data. As markers of initial degradation, metals were used: copper, lead, zinc, nickel. An increased concentration of copper in the soils of weakly damaged landscapes of the humus-accumulative horizon was recorded, twice as much as UEC. Zinc concentration exceeded UEC in all samples of «reference» and slightly damaged landscapes by 1.5–2.5 times. Increased zinc concentrations are most likely associated with contamination of the territory with municipal waste. Nickel concentrations exceeded UDC 4.5–6 times. The main source of nickel entering the soils is the exhaust gases of vehicles. Thus, weakly damaged landscapes were characterized by an excess of UEC for copper, zinc, nickel. **Keywords:** heavy metals, Sura-Sviyazhskoye interfluvium of Volga Upland, UEC, MPC, background data*

Введение

На сегодняшний день в России действует система нормирования поллютантов, основные из которых тяжелые металлы. Нормативы приняты в 2006 (ПДК) (предельно допустимая концентрация) и 2009-х годах (ОДК).

Ориентировочно-допустимый показатель (ОДК) химических веществ в почве утвержден Главным санитарным врачом РФ и разработан расчетным методом [6]. ОДК обоснованы для трех ассоциаций почв России: супесчаных, песчаных и суглинистых почв. Приведенные данные показывают максимально возможное загрязнение, способное нейтрализоваться буферностью почв. Однако показатели не учитывают фоновые данные, которые могут быть переменными и буферность почв по отношению к поллютантам. К тому же, для эффективного контроля, оценки и прогноза необходимо использовать банк фоновых данных природных концентраций таких поллютантов, как тяжелые металлы. Сравнение данных исследования с фоном и нормативами позволит сделать эффективный прогноз и оценку загрязнения территории. Таким образом, создались условия для пересмотра нормирования основных поллютантов.

Обзор литературы

Геохимией ландшафтов занимались такие известные ученые, как Б.Б. Полюнов, Н.С. Касимов, П.В. Елпатьевский, М.А. Глазовская, А.И. Перельман [5, 15] и многие другие. Из числа зарубежных ученых большой вклад в изучение поведения тяжелых металлов (ТМ) внесли Дж. В. Мур и Раммути С. [14].

Процедура нормирования валовых концентраций металлов восходит к именам А.П. Соловова, А.И. Перельмана и других отечественных и зарубежных геохи-

миков и применялась первоначально для поисков полезных ископаемых. Позже она стала применяться и в экологии. Впервые для оценки загрязнения окружающей среды (ОС) ее применил Ю.Е. Саэт [9]. Им был предложен суммарный показатель загрязнения почв (который применяется и в наши дни — Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы»), в основу расчетов которого положено нормирование *i*-того загрязняющего вещества на фоновые концентрации того же вещества. Позже были разработаны и приняты также и другие санитарно-гигиенические нормативы как для валовых, так и подвижных форм тяжелых металлов, такие как ПДК и ОДК. Причем современными исследованиями было установлено, что для экологии более значима оценка загрязнения именно подвижными формами ТМ [10], т.к. они более мобильны и легко встраиваются в трофическую цепь почва-растения-человек. Но фоновые значения концентраций ТМ применяются для оценки загрязнения почв, во-первых, для тех химических элементов, для которых ПДК и ОДК не разработаны, или находятся в стадии утверждения, а во-вторых, в тех случаях, когда оцениваемые площади обогащены теми или иными элементами в силу природных причин [1].

Множество работ посвящены определению качества среды на основе биотестирования. Ганин Г.Н. предлагает использовать мезопедобионтов в качестве индикаторов загрязнения почв тяжелыми металлами [4]. Мелехова О.П., Косова Г.В. и другие привели данные исследования, посвященного определению качества водной среды на биотестах эмбрионов гидробионтов [7]. Результаты показали, что даже небольшие концентрации солей тяжелых металлов нарушают метаболизм гидробионтов и вызывают их гибель.

Значительная часть авторов в оценке качества среды использует комплексный подход. Так, Воробейчик Е.Л. и другие [3] проанализировали реакции основных компонентов (древесный и травяно-кустарничковый ярусы, почвенный покров, лесная подстилка, почвенная мезофауна, почвенный микробоценоз и ферменты, население птиц и мелких млекопитающих, эпифитная лихенофлора); привели зависимости типа доза—эффект для важнейших параметров функционирования экосистем; создали предпосылки для разработки ПДК почв. Савченко С.В., Саенц Е.В. и другие в 2017 г. опубликовали статью, где предлагали учитывать свойства самих поллютантов и их фоновую концентрацию [8].

Таким образом, сложилась ситуация, когда необходимо изменить подход к определению качества среды и нормированию поллютантов в окружающей среде и в почвах частности.

Материалы и методы

В качестве объектов ландшафтно-геохимического исследования выбраны ландшафты западного склона Сура-Свияжского междуречья Приволжской возвышенности и Марийской низменности в границах Чувашской Республики, где наряду с нарушенными сохранились почти ненарушенные природные лесо-



Диаграмма соотношения валовых концентраций тяжелых металлов в почвах ландшафтов Приволжской возвышенности и Марийской низменности

степные ландшафты. Основные места взятия проб: автономные, транзитные, супераквальные и аквальные ландшафты. Относительно ненарушенными природными ландшафтами представлены территории государственного природного заповедника «Присурский»: памятники природы и слаборазрушенные ландшафты. Техногенное влияние на них осуществляется переносом загрязнений с атмосферными осадками и геохимическим сопряжением этих ландшафтов с расположенными гипсометрически выше антропогенных ландшафтов. К слаборазрушенным ландшафтам отно-

сятся также зоны рекреации и леса вблизи городов Шумерля и Вурнары. Метод, основанный на определении концентрации тяжелых металлов в почве и воде, позволяет проследить динамику загрязнения территории, выявить аккумулятивные зоны, и способствует прогнозированию этих изменений и составлению программы дальнейших исследований.

Авторами были определены валовые концентрации высокотехнофильных металлов, обладающих деструктивной активностью: меди, свинца, цинка, никеля в почвах методом рентген-флуоресцентной спектроскопии. В качестве прибора-анализатора был использован кристалл-дифракционный рентгеноспектральный флуоресцентный квантометр PW-1600 фирмы «Филипс» с компьютером IBM PC Pentium.

Пробы почв отбирались методом «конверта», т.е. с каждой площадки было отобрано 5 комплексных проб.

Результаты исследования

Как известно, основные циклы миграции тяжелых металлов начинаются в почве. Связываясь с тонкодисперсной фракцией

Соотношение валовой концентрации тяжелых металлов в почвах ландшафтов Сура-Свияжского междуречья и Марийской низменности

Поллютанты	ОДК, мг/кг	Валовая концентрация, мг/кг				
		Место пробы почвы				
		«Эталонные» ландшафты		Слаборазрушенные ландшафты		
		Оз. Кулюкары, пойма. Дерново-подзолистые почвы	Автоном. ландшафт. — оз. Щучье. Супесчаные почвы	Астраханка. Пойма. Супесчаные почвы	Автоном. ландшафт. — оз. Астраханка. Супесчаные почвы	Автоном. — оз. Изьяры. Супесчаные почвы
Медь	33 для песчаных и супесчаных		25 (горизонт А ₁)	43 (горизонт А ₁)	51 (горизонт А ₁)	35 (горизонт С)
	132 для суглинистых	471 (горизонт С)				
Свинец	32 для песчаных и супесчаных		20 (горизонт А ₁)	15 (горизонт А ₁)	26 (горизонт А ₁)	12 (горизонт С)
	130 для суглинистых	32 (горизонт С)				
Цинк	55 для песчаных и супесчаных		111 (горизонт А ₁)	114 (горизонт А ₁)	61 (горизонт А ₁)	64 (горизонт С)
	220 для суглинистых	32 (горизонт А ₁)				
Никель	20 для песчаных и супесчаных		91 (горизонт А ₁)	122 (горизонт А ₁)	49 (горизонт А ₁)	89 (горизонт С)
	80 для суглинистых	1221 (горизонт А ₁)				

(в том числе с глинистыми частицами), тяжелые металлы мигрируют в системах: почва — растения — животные, образуют связи с пылевыми частицами и попадают в атмосферу. В целях снижения экологического риска необходимо проводить мониторинг содержания поллютантов, знать пути поступления в почву и условия миграции, снижать техногенную аккумуляцию тяжелых металлов путем ведения рационального природопользования.

Нами определена валовая концентрация некоторых тяжелых металлов-маркеров экологической безопасности [13] — меди, свинца, цинка, никеля в почвах «эталонных» ландшафтов, не испытывающих техногенного влияния вблизи особо-охраняе-

мых природных территорий, а также валовая концентрация металлов почв слаборазрушенных ландшафтов. Полученные данные концентраций некоторых металлов превышали ОДК в несколько раз (таблица).

Таким образом, наблюдается устойчивая тенденция накопления тяжелых металлов почвами техногенно-разрушенных ландшафтов (рисунок).

Меди больше зарегистрировано в почвах автономного ландшафта вблизи оз. Астраханка, нежели почв автономного ландшафта у оз. Щучье («эталонный» ландшафт) в 2 раза. При этом почвы слаборазрушенного ландшафта содержали меди в два раза больше, чем ОДК. Повышенные концентрации в них меди могут быть связаны с попаданием минеральных удобрений с соседних ландшафтов, а также осадков сточных вод.

Установлено, что цинка и свинца больше в техногенно-разрушенных ландшафтах в несколько раз. Концентрации цинка в почвах слаборазрушенных ландшафтов в два раза превышали ОДК. В сельской местности цинк может быть привнесен в почвы с минеральными удобрениями [2].

Зарегистрирована концентрация никеля слаборазрушенных ландшафтов в 1,3 раза превышающая таковую «эталонных». Количество никеля превышало ОДК в 4,5–6 раз. Основной из источников поступления никеля в почвы — выхлопные газы автотранспорта, поскольку он содержится во многих марках бензина и дизельного топлива.

Таким образом, слаборазрушенные ландшафты характеризовались превышением ОДК для меди, цинка, никеля. Как известно, металлы аккумулируются глинистыми и суглинистыми почвами. Данное явление связывают со строением почвенных частиц и их повышенной сорбцией металлов, и других поллютантов. Причем наибольшему загрязнению подвержены верхние горизонты профиля почв (гор. A_1 и A_0). Однако для подтверждения техногенного характера загрязнения опробовался и горизонт С, т.к. известно, что сопоставление концентраций горизонтов А/С позволяют разграничить техногенные и природные аномалии химических элементов [11, 12].

Выводы

Зарегистрирована аккумуляция почвами техногенно-разрушенных ландшафтов тяжелых металлов.

Слаборазрушенные ландшафты аккумулируют металлы в большей концентрации, нежели «эталонные», не испытывающие прямое техногенное воздействие. Однако некоторые исследованные нами пробы почв «эталонных» ландшафтов превышали ОДК по меди, цинку и никелю, что вероятнее всего связано с переносом ТМ с сопряженных с ними техногенно-разрушенных ландшафтов.

Предлагается в качестве маркеров начальной дегградации экосистем использовать тяжелые металлы и особое внимание уделять изучению слаборазрушенных ландшафтов.

Следует учитывать, что буферные свойства каждой экосистемы и тот факт, что даже при низком значении концентрации поллютанта относительно ОДК, экосистеме может быть нанесен непоправимый ущерб.

Именно поэтому, в целях эффективной оценки экологического риска загрязнения территорий необходимо создавать банки данных по фоновым или «эталонным» ландшафтам. При определении степени нарушенности ландшафтов — учитывать фоновые данные. Так мы определим степень загрязнения объекта исследований относительно эталона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вдовина, О.К. Роль геохимического фона при оценке инвестиционной привлекательности рекреационных территорий / О.К. Вдовина, А.А. Лаврусевич, Р.В. Высокинская, И.М. Евграфова, К.С. Полякова // Вестник МГСУ. — 2014. — № 8. — С. 98–106.
2. Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю.Н. Водяницкий. — М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. — 86 с.
3. Воробейчик, Е.Л. Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень) / Е.Л. Воробейчик, О.Ф. Садыков, М.Г. Фараонов. — Екатеринбург: Изд-во УИФ «Наука», 1994.
4. Ганин, Г.Н. Биоиндикация загрязнения почв Нижнего Приамурья с помощью мезопедобионтов / Г.Н. Ганин // Сибирский экологический журнал. — М.: Изд-во Сибирского отделения РАН. — 2012. — Т. 19. — № 6. — С. 785–791.
5. Глазовская, М.А. Методические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям / М.А. Глазовская. — М.: Изд. МГУ, 1997. — 102 с.
6. ГН 2.1.7.2511-09. Гигиенические нормативы. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. — М., 2009. — 3 с.
7. Мелехова, О.П. Экологические последствия слабых загрязнений водной среды / О.П. Мелехова, Г.В. Коссова, С.М. Падалка, Е.Н. Каллистратова // Ульяновский медико-биологический журнал. — Ульяновск: УГУ. — 2012. — С. 131–136.
8. Савченко, С.В. Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых / С.В. Савченко, Е.В. Саенц, О.В. Кадацкая, Е.П. Овчарова, Ю.А. Романкевич // Сб. материалов Междунар. науч. конф., посвященной 110-летию со дня рождения академика Константина Игнатьевича Лукашева (1907–1987). — М.: Право и экономика, 2017. — С. 112–114.
9. Сает, Ю.Е. Экология окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич и др. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
10. Колотов, Б.А. Подвижные формы химических элементов как показатель состояния окружающей среды / Б.А. Колотов, О.К. Вдовина, Ю.А. Полякова и др. // Матер. второй междунар. науч.-прак. конф.: Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы. 4–6 октября, Воронеж, 2011. — Воронеж: «КОМПЕР», 2011.
11. Криночкина, О.К. Проявления техногенных и рудогенных аномальных геохимических полей и критерии их дифференциации / О.К. Криночкина, А.А. Лаврусевич // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 1. — С. 16–19.
12. Криночкина, О.К. Учет влияния природной геохимической опасности территорий при оценке негативного воздействия горнопромышленных комплексов на окружающую среду / О.К. Криночкина, В.Г. Стуло // Международный научно-исследовательский журнал. — 2016. — № 7. — Ч. 4. — С. 111–113.
13. Кузнецова, О.Г. Вопрос идентификации маркеров экологической безопасности / О.Г. Кузнецова // Актуальные вопросы рационального использования природных ресурсов. 2019. — Т. 2: Матер. XV Международного форума-конкурса студентов и молодых ученых под эгидой ЮНЕСКО. — СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2019. — С. 724.
14. Мур, В.Дж. Тяжелые металлы в природных водах / В.Дж. Мур, С. Раммути. — М.: Мир, 1987. — 286 с.
15. Перельман, А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза / А.И. Перельман — М.: Недра, 1972. — 288 с.

© Кузнецова О.Г., Лаврусевич А.А., Криночкина О.К., 2021

Кузнецова Ольга Григорьевна // o-g-k@list.ru
Лаврусевич Андрей Александрович // lavrusevichAA@mgsu.ru
Криночкина Ольга Константиновна // KrinochkinaOK@mgsu.ru