



УДК 504+550.4+553.3/.9+631.4+662

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ В ЗОНЕ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Г.И.САРАПУЛОВА

Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

Целью данного исследования являлось получение диагностических признаков и критериев распределения тяжелых металлов в техногенно-нарушенных почвах в зоне промышленных объектов в зависимости от их измененных геохимических свойств, позволяющих закреплять химические элементы в ландшафтах (образование геохимических барьеров). На основе геоэкологической оценки выявлены нарушения буферных свойств почв, что проявляется в изменении ионного состава, защелачивании, повышении pH, сульфатно-хлоридном засолении. Это формирует щелочной барьер на пути распространения тяжелых металлов, например, для Cu, Pb, Zn, N, способствует их аккумуляции и последующей концентрации в слое почвы за счет обменных взаимодействий химических элементов с катионами Na⁺, K⁺, Ca²⁺. Насыщение почвенной среды сульфатами также повышает вероятность закрепления металлов в почвенном слое. Показано, что в техногенно-измененных почвах внутрипрофильная почвенная миграция нефтепродуктов (одного из наиболее распространенных загрязнителей промышленных территорий) и химических элементов происходит до глубины 30-50 см, где формируется техногенный барьер в виде нефтепродуктов на глинистом сорбционном слое. Обнаружена прямая зависимость содержания нефтепродуктов в почве от суммы токсичных сульфатных и хлоридных солей. Совокупность выявленных факторов создает условия для взаимообусловленного фиксирования поступающих на поверхность загрязняющих веществ и химических элементов, в том числе тяжелых металлов, формируя спонтанные техногенно обусловленные геохимические барьеры в зоне промышленных производств. Обнаруженные эффекты являются обоснованием для создания на практике искусственных геохимических барьеров на пути миграции как загрязняющих веществ, так и ценных компонент с целью их последующего извлечения из почв при разработке соответствующего способа извлечения.

Ключевые слова: тяжелые металлы; геохимический барьер; геоэкологическая оценка; миграция

Как цитировать эту статью: Сарапулова Г.И. Эколого-геохимическая оценка почв в зоне техногенных объектов // Записки Горного института. 2018. Т. 234. С. 658-662. DOI: 10.25515/PMI.2018.6.658

Введение. Освоение полезных ископаемых характеризуется неконтролируемым поступлением в почвенные горизонты территорий значительных количеств теряемых и невозпроизводимых ценных химических элементов. Из недр Земли извлекается более 100 млрд т руды, на поверхности рассеивается более 400 млн т минералов, а геотехнологии рассматриваются как основополагающий фактор воздействия горнопромышленного комплекса на объекты ОС – прежде всего, на почвы [9]. Техногенный прессинг оказывается на территорию как в период освоения месторождения, так и после его отработки в виде отвалов, шламо- и хвостохранилищ, твердых и жидких отходов различного химического состава [5]. Из техногенно обусловленных образований в окружающую среду поступают различные вещества, мигрирующие в природных ландшафтах. Вследствие этого на ограниченных площадях могут формироваться техногенные поля и ореолы загрязнения. Слабая изученность критериев состояния техногенно измененных геосистем не позволяет оценить масштабы охвата территорий негативными последствиями.

Проблеме минимизации негативного воздействия на окружающую среду, вопросам рекультивации нарушенных земель, утилизации отходов добычи посвящено большое количество работ [10, 14, 16]. Авторы проявляют научный интерес к эколого-геохимическим исследованиям независимо от вида полезных ископаемых, аргументируя это масштабом техногенного давления на территории и необходимостью разработки системы диагностики состояния объектов окружающей природной среды в условиях нарастающего техногенеза. В настоящее время идет поиск эффективных методологических подходов для комплексной геоэкологической оценки нарушенных территорий, разрабатываются системы эколого-геохимического мониторинга при освоении природных ресурсов [4, 7, 11]. В последние годы изменилась направленность геоэкологических исследований. Изучение геохимических закономерностей распределения вещества в верхней части литосферы и почве, систематизация и обобщение причин, регулирующих подвижность одних химических элементов и снижение активности других, находятся в центре внимания научных школ, например [2, 3, 6].

Поиск критериев и количественных зависимостей поведения химических элементов и загрязнителей и причинно-следственной связи геохимических параметров от измененных характе-



ристик почвенной среды способствует пониманию механизма миграции веществ в условиях техногенеза [8, 12, 13, 15]. Это позволяет выявить геохимические барьеры на пути распространения как загрязнителей, так и ценных компонент с целью их извлечения.

Постановка проблемы. Изучение закономерностей миграции химических элементов, выявление латерального и внутривертикального распределения, получение доказательств обусловленности их фиксации в зависимости от условий среды актуально в геохимии техногенно измененных ландшафтов. Из недр извлекается более 200 видов полезных ископаемых, однако не учтены еще реальные потери ценных ресурсов в виде химических элементов, рассеиваемых на поверхности. Почва представляет собой мощный природный барьер, способный накапливать химические элементы, выводя их из биогеохимического круговорота веществ. Поэтому проблема изучения особенностей поведения химических элементов и веществ в техногенно измененных почвах является весьма актуальной.

Целью данного исследования являлось выявление диагностических признаков распределения тяжелых металлов (ТМ) в техногенно измененных почвах в зависимости от их геохимических свойств, позволяющих закреплять химические элементы.

Задачи исследования:

1. Определение критериев нарушенности буферных свойств почв на основании ключевых показателей состояния, а также фактора засоления в зоне техногенеза.

2. Получение эмпирических зависимостей, выявляющих возможность формирования геохимических барьеров на пути распространения ТМ в зоне техногенного объекта.

3. Анализ взаимообусловленности распределения ТМ в почве от содержания наиболее распространенного загрязнителя – нефтепродуктов (НП).

Методология. Методология исследования базировалась на теоретических основах геохимии ландшафта и концепции техногенных геохимических барьеров [3, 6]. За основу исследований взято положение, что изучение миграционных потоков химических элементов в почвах способствует выявлению потенциальной возможности для формирования искусственных барьеров при концентрировании веществ на ограниченной территории. Это позволит в перспективе создавать «вторичные месторождения полезных ископаемых» для извлечения ценных компонент.

Изучены более 50 образцов почв, отобранных в зоне производственных объектов (дамбы, гидротехнические сооружения, шламохранилища и др.) с глубины 5, 20 и 50 см. Изучены химические свойства почв по общепринятыми методиками [1]. Определены содержания валовых форм элементов Cu, Ni, Zn, Pb на атомно-абсорбционном спектрометре Perkin Elmer-5000. Содержания НП определены гравиметрически и спектрально. Значения от рН солевых вытяжек почв получены потенциометрически. Для статистической обработки применяли пакет программ в EXCEL.

Обсуждение. Согласно современным представлениям геохимический барьер – это открытая, неравновесная, динамическая, самоорганизующаяся система с множеством факторов, обуславливающих фиксацию элементов. Интенсивность миграции и накопление элементов на геохимических барьерах зависит, прежде всего, от рН среды, ионного состава почв, наличия органических соединений и сорбционных материалов, засоления. В таблице показано распределение основных ионов, значения рН, содержание ТМ и НП в почве до глубины 50 см на территории в зоне одного из изученных техногенных объектов на расстоянии от источника загрязнения до 500 м.

Выявлен щелочной характер почв рН до 8-9, что существенно отличается от естественных показателей и свидетельствует о насыщении почвенных субстратов основаниями. Это обуславливает снижение устойчивости почвы к протонной нагрузке, высокую чувствительность к взаимодействию с металлами. Так, на рис.1 на примере Cu и Pb приведены зависимости содержания химического элемента от рН почвы. Корреляции следует интерпретировать как подтверждение эффекта аккумуляции металлов при защелачивания почвы. Выявленный процесс следует рассматривать как прямую обусловленность процесса накопления металла на щелочном геохимическом барьере.

Как правило, почвы в районе горных выработок, шламо- и хвостохранилищ являются постоянным источником засоления грунтов, а также подземных вод. В результате химического анализа изученных почв были зафиксированы высокие содержания ионов хлора Cl^- – до 68,9 мг/дм³, содержания ионов SO_4^{2-} – до 197 мг/дм³.

Химический анализ почв в зоне техногенного объекта, содержания нефтепродуктов, тяжелых металлов (мг/кг), ионов (мг-экв/100 г почвы)

Проба (расстояние от объекта, м)	Глубина отбора, см	Параметр									
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	pH	Cu	Ni	Zn	Pb	НП
1 (50)	5	1,80	0,68	5,76	2,26	8,9	29,18	49,30	48,23	50,12	1,05
	20	1,20	0,57	3,78	2,47	8,8	37,25	83,15	55,60	59,89	1,19
	50	1,07	0,50	2,75	2,34	8,2	48,89	79,12	70,12	65,70	1,77
2 (150)	5	1,94	0,75	5,02	2,46	8,8	35,15	40,25	46,18	49,25	0,95
	20	1,35	0,60	4,03	1,98	8,7	44,12	73,49	60,50	58,26	0,99
	50	1,15	0,54	3,20	2,02	8,7	51,16	69,90	65,89	65,14	1,25
3 (350)	5	1,89	0,74	4,96	3,04	8,9	38,98	39,12	55,15	49,62	0,99
	20	1,30	0,66	3,89	2,60	8,5	40,24	45,24	62,14	55,42	1,02
	50	1,09	0,52	2,92	3,01	8,2	56,52	53,32	72,06	60,34	1,42
4 (500)	5	1,96	0,69	5,89	3,02	8,8	36,15	28,54	40,30	40,23	0,97
	20	1,28	0,59	3,93	2,47	8,6	45,26	30,59	51,41	53,25	1,05
	50	1,02	0,49	2,89	2,96	8,0	50,92	35,60	59,50	59,90	1,35
ПДК, валовая форма тяжелых металлов	–	–	–	–	–	–	33	20	55	32	–

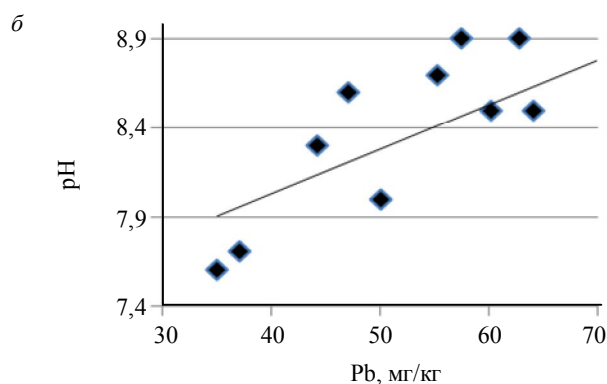
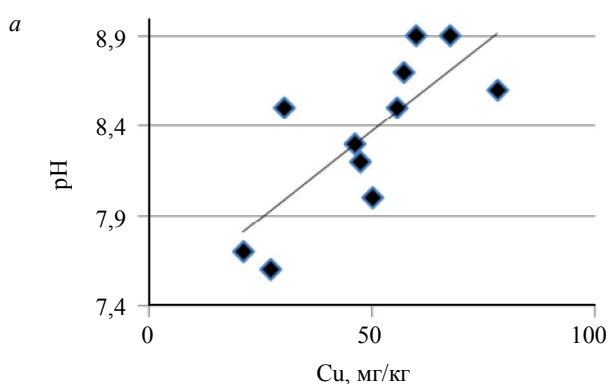
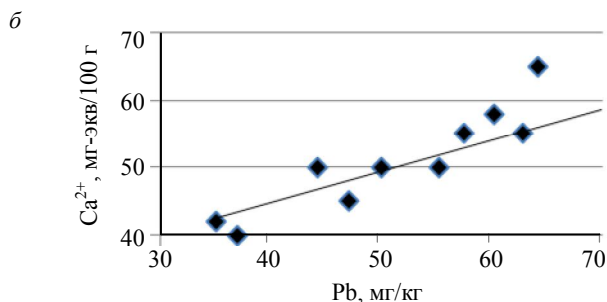
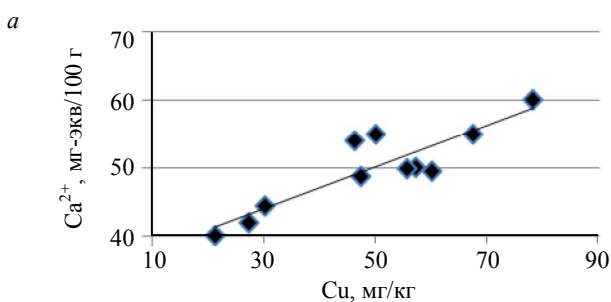


Рис.1. Зависимость содержания Cu (а) и Pb (б) в почвах от pH

Рис.2. Зависимость содержания Cu (а) и Pb (б) в почвах от концентрации ионов Ca²⁺

Обогащение почв ионами SO_4^{2-} и Ca^{2+} может создавать условия для формирования устойчивого сульфатно-щелочного геохимического барьера, который неизбежно вызовет фиксацию некоторых металлов с последующим накоплением и превышением допустимых нормативов – ПДК. Получены корреляции, связывающие содержания валовой формы ТМ и одного из главных катионов, которые подтверждают сделанное предположение, например для пары $\text{Cu}^- \text{Ca}^{2+}$ (рис.2). Этот эффект может усиливаться за счет обменных взаимодействий ТМ с катионами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} .

Выявлено также, что легкорастворимые сульфатные и хлоридные соли проникают вдоль профиля почвы до глубины 30-50 см (см. таблицу). Содержания ионов Cl^- и SO_4^{2-} находятся на границе показателя токсичности, а отношение $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ находится в пределах 4,33, что характеризует состояние почвы как засоленную.



Известно, что ни одно горное производство не обходится без применения нефтепродуктов для очень широкого спектра работ. В настоящее время загрязнение земной поверхности нефтью и нефтепродуктами приобрело глобальные масштабы, а определение содержания НП при анализе почв, воды является приоритетным в мониторинге. В таблице показаны превышения содержаний НП в изученных почвах над нормативами. Следует подчеркнуть, что для разных климатических зон и различных типов почв принято использовать разные значения ПДК по нефтепродуктам – 100; 300; 500 мг/кг. Наличие НП в почве нарушает его физико-химические свойства, ухудшает азотный режим, трансформирует окислительные условия на восстановительные. В нашем случае необходимо было также оценить, как солевое загрязнение влияет на распределение НП.

С применением регрессионного анализа получена количественная зависимость содержания НП от суммы токсичных солей $\Sigma_{\text{токс}}$: $y = 0,008x + 0,203$; $r = 0,82$; $n = 30$. Прямая зависимость и высокое качество корреляции объясняет взаимообусловленный геохимический эффект, который проявляется в накоплении НП в слое почве до 30-50 см с одновременным процессом засоления. Это имеет важное значение для развития научных представлений в геохимии почв, а также практическую значимость для потенциальной разработки искусственных геохимических барьеров на пути распространения НП. Ограничением дальнейшей миграции НП может служить наличие глинистого сорбционного слоя, активного по отношению к углеводородам.

Заключение. Получены диагностические эколого-геохимические признаки нарушения естественных свойств почв зоне техногенных объектов, что проявляется в изменении их ионного состава и защелачивании. Регулирующим фактором закрепления химических элементов в почвенном слое является рН среды. Это создает благоприятные условия для формирования устойчивого щелочного геохимического барьера, на котором может происходить концентрация химических элементов. Выявлена прямая количественная зависимость процесса накопления Cu, Pb от кислотно-щелочных свойств почв и содержания ионов Ca^{2+} . Аккумуляция металлов в почвенном слое усиливается дополнительным вкладом сульфатно-хлоридного загрязнения, а также обменными взаимодействиями с катионами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} . Наблюдаемый эффект имеет значение для развития эколого-геохимического мониторинга территорий в горной отрасли, а также практическую значимость для разработки способа извлечения металлов из почвогрунтов в районе промышленного объекта.

Обнаруженные признаки спонтанно сформированного техногенного барьера продемонстрировали потенциальную возможность разработки искусственных геохимических барьеров на пути миграции техногенно обусловленных веществ и химических элементов. В условиях нарастающего дефицита ценных компонентов для многих отраслей экономики такой подход можно оценивать как инновационно привлекательный.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
2. Глазовская М.А. Проблемы и методы оценки эколого-геохимической устойчивости почв // Почвоведение. 1999. № 1. С. 114-124.
3. Давыдова Н.Д. Ландшафтно-геохимические барьеры и их классификация // География и природные ресурсы. 2005. № 4. С. 24-30.
4. Заиканов В.Г. Методические основы комплексной геоэкологической оценки территорий / В.Г.Заиканов, Т.Б.Минакова. М.: Наука, 2008. 200 с.
5. Зеньков И.В. Обзор зарубежных исследований в области экологии горно-добывающего производства // Горный журнал. 2016. № 10. С. 96-99.
6. Касимов Н.С. Становление и развитие учения о геохимических барьерах. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / Н.С.Касимов., Е.Н.Борисенко. М.: Наука, 2002. 250 с.
7. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья / К.Н.Трубецкой, В.А.Чантурия, Д.Р.Каплунов, М.В.Рыльников. М.: Наука, 2010. 437 с.
8. Сарапулова Г.И. Влияние техногенеза на устойчивость геосистем в условиях урбанизации/ Г.И.Сарапулова, С.Гантомор // Естественные и технические науки. 2010. № 3. С. 286-287.
9. Славиковский О.В. Недроемкость геотехнологий как основополагающий фактор воздействия горно-промышленного комплекса на окружающую среду / О.В.Славиковский, Ю.В.Славиковский, Н.Н.Валиев // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 2. С. 70-75.
10. Фомин С.И. Способы снижения экологической нагрузки на горнодобывающие регионы / С.И.Фомин, А.А.Фауль // Записки Горного института. 2013. Т. 203. С. 215-219.



11. Чантурия В.А. Развитие физико-химических основ и разработка инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья / В.А.Чантурия, А.П. Козлов // Горный журнал. 2017. № 7. С. 79-84.
12. Hu Zhengi. Ecological Restoration of Abandoned Mine Land in China / Zhengi Hu, Wang Peijun and Li. Jing // Journal of Resources and Ecology. 2012. № 3(4). P. 289-296.
13. Li L. Release of cadmium, copper, lead from urban soils of Copenhagen // Environmental pollution. 2014. № 187. P. 90-97.
14. Myga Pigte K.U. Landscape Management on post-Exploitation Land using the Example of the Silesian Region, Poland // Environmental and Socio-economic Studies. 2014. Vol. 2(1). P. 1-8.
15. Restoration ecology: aiding and abetting secondary succession on abandoned peat mines in Nova Scotia and New Brunswick Canada / S.P.V.Kloet, T.S.Avery, P.J.V.Kloe, G.R.Milton // Mires and Peat. 2012. Vol. 10. P. 1-20.
16. Sustainable follow up of recultivated surfaces / R.Perti, W.Stein, D.Dahmen, K.Buschhit // World of Mining –Surface and Underground. 2013. Vol. 65. № 2. P. 92-101.

Автор Г.И.Сарапулова, д-р хим. наук, профессор, sara131@mail.ru (Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия).

Статья поступила в редакцию 27.04.2018.

Статья принята к публикации 26.06.2018.