

УДК 504.056; 911.5

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛАНДШАФТАХ ЮЖНОГО УРАЛА

Шабанов Михаил Викторов<sup>1</sup>,  
geohim.spb@gmail.ru

Стрекулев Григорий Борисович<sup>1</sup>,  
strekulev@gmail.com

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский Государственный аграрный университет,  
Россия, 196601, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2.

**Актуальность.** На исследуемой территории развиты различные типы ландшафтов, которые интенсивно используются как в сельскохозяйственном, так и в горнопромышленном производстве. Добыча и переработка рудного сырья вовлекает в круговорот химические элементы, которые аэрогенным или атмосферным путем попадают в окружающие ландшафты и загрязняют их. Это приводит к трансформации ландшафтов, появляются техногенные и геохимические аномалии. Поэтому эколого-геохимическая характеристика позволяет выявить основные техногенные факторы, оказывающие негативное влияние на окружающие ландшафты.

**Цель:** оценить геохимические уровни тяжелых металлов природных и антропогенных ландшафтов.

**Объекты:** почвы природных и техногенных ландшафтов.

**Методы:** отбор и подготовка почв, определение элементного состава почв инструментальным инверсионно-вольтамперометрическим методом.

**Результаты.** Приведены результаты геохимических исследований почв природных и техногенных ландшафтов (западной части Челябинской области и востока республики Башкортостан). Для оценки степени загрязнения было рассчитано фоновое содержание для тяжелых металлов Zn, Cd, Pb, Cu, Ni и Co. На исследуемой территории выделено несколько типов ландшафтов (горный, предгорный, степной и лесной). Произведена оценка негативного влияния горно-металлургических предприятий черной и цветной металлургии, карьерно-отвалных массивов рудного и нерудного материала на загрязнение почв. Установлено, что максимальное превышение фонового содержания тяжелых металлов – вблизи металлургических комбинатов, в наименьшей степени – вблизи карьерно-отвалных систем. По данным индекса суммарного загрязнения установлено, что почвы ландшафта классифицируются от средней до сильной степени загрязнения. По индексу геоаккумуляции выявлены основные центры загрязнения и составлены карты-схемы.

**Ключевые слова:**

Загрязнение почв, элементный состав почв, суммарный индекс загрязнения, индекс геоаккумуляции, геохимические аномалии.

### Введение

Индустриализация и урбанизация, нерациональное использование природных ресурсов человеком приводят к экологическим проблемам, в том числе и к ухудшению свойств земельных ресурсов. В последние десятилетия разработка месторождений и переработка рудного и нерудного материала оказала значительное воздействие на почвенный покров – это загрязнение халькофильными, сидерофильными и литофильными элементами. Загрязнение почв является одним из актуальных вопросов во всем мире. Тяжелые металлы, попадая в окружающую среду, рассеиваются и концентрируются.

В связи с этим ландшафтная оболочка претерпевает изменения в результате деятельности человека. Ландшафт является результатом сложных взаимодействий между социальными, биологическими и физическими силами [1, 2]. Деятельность человека сильно влияет на ландшафты, создавая мозаику природных и управляемых человеком участков [3]. Кроме этого, природные и техногенные ландшафты связаны между собой [2].

Южный Урал является крупнейшим промышленным центром России с исторически сложившейся индустриальной базой. В течение очень длительного времени в этом районе производится добыча и перера-

ботка полезных ископаемых, что приводит к трансформации природных ландшафтов [4–6]. В результате добычи полезных ископаемых рудное сырье извлекается из недр Земли. Химические элементы, которые находились в устойчивых термодинамических равновесных состояниях, оказавшись на поверхности Земли, подвергаются процессам окисления, образуются подвижные формы, которые начинают интенсивно мигрировать в ландшафтах, происходит латеральная дифференциация. Переработка рудного сырья на металлургических комбинатах приводит к рассеиванию тяжелых металлов в виде аэрозольных выбросов в различных соединениях, которые распространяются на значительные расстояния [3]. Они оседают на поверхности почвы, частично вовлекаются в биологический круговорот, часть закрепляется органическим веществом, а часть мигрирует в профиле почв, происходит радиальная дифференциация ландшафта [7].

Состав и протяженность потоков рассеяния химических элементов в ландшафтах контролируется общей ландшафтно-геохимической обстановкой [8, 9]. Ландшафты Южного Урала, а именно почвы, являются одним из главных звеньев земледелия, т. е. возникает необходимость выявления современных процессов накопления и распределения тяжелых металлов в каждом ландшафте.

Цель данной работы – оценить геохимические уровни тяжелых металлов природных и антропогенных ландшафтов Южного Урала.

В задачи исследования входило:

- 1) изучить взаимосвязь между загрязнением тяжелыми металлами и ландшафтной структурой;
- 2) установить природу источников загрязнения;
- 3) провести анализ современной эколого-геохимической обстановки, по данным исследования составить геохимические картограммы территории.

#### Материалы и методы

Изучение ландшафтов проводилось в западной части Челябинской области и на востоке Республики Башкортостан. Данное местоположение выбрано в связи с тем, что здесь сосредоточена основная масса месторождений руд черных и цветных металлов. Объектами исследования являются почвы ландшафтов, расположенные вблизи действующих и заброшенных источников загрязнения – это предприятия черной и цветной металлургии, Магнитогорский металлургический комбинат, Карабаш Медь, а также в районе неработающих горно-обогатительных комбинатов – Баймакский ГОК и Уфалей Никель, кроме этого, в районе отработанных карьеров по добыче рудного сырья – Таш-Тау, Бакр-Тау, Бакр-Узяк, Астафьевское, и действующих – Малый Куйбас, Узельгинское и Учалинское (рис. 1).

Работа выполнялась маршрутно-экспедиционным и лабораторно-аналитическими методами. Места отбора проб были выбраны вблизи карьеров рудного сырья и металлургических комплексов. Расстояние отбора проб зависело от типа использования объекта. Вблизи карьеров пробы отбирались согласно розе ветров на расстоянии 100 и 500 м. В промышленных городах – по радиусу до 10 км, а также в городской черте. Кроме этого, отбирались образцы через каждые 5 км с целью установления границ массопереноса аэрозолей тяжелых металлов и выявления фонового содержания металлов.

Во время маршрута были выбраны наиболее показательные участки ландшафтов, на которых были отобраны почвенные образцы. Морфологическое описание почв производилось по системе индексов и определений горизонтов по «Классификации почв России» [10]. Образцы почв для анализа отбирали послойно с глубины 0–40 см, где происходят основные изменения физико-химических свойств, связанные с антропогенной нагрузкой. Почву высушивали, измельчали, пропускали через сито с диаметром 1 мм. В подготовленных почвенных образцах определяли следующие параметры:

- 1) обменная кислотность в 1М растворе KCl с последующим измерением показателя рН на иономере рН-150МИ [11];
- 2) гранулометрический состав почв по Н.А. Качинскому [12];
- 3) тяжелые металлы инверсионным вольтамперометрическим методом по методике МУ31-11/05, внесенный в Федеральный реестр методик изме-

рений под номером ФР.1.31.2005.02119. Для извлечения валовых форм Zn, Cd, Pb, Cu, Co и Ni воздушно-сухая навеска почвы заливалась 50%-м раствором азотной кислоты в соотношении 1:10 (почва:раствор) с дальнейшим кипячением и добавлением 30 %-ного раствора перекиси водорода. Для составления геохимических картограмм области использовали программное обеспечение ArcGis.

#### Результаты и их обсуждение

Исследования проводились в западной части Южного Урала, Челябинской области и на востоке республики Башкортостан. Западная часть территории является горной, центральная преимущественно степная, полого-увалистая, холмистая, северная горнолесная. В зоне исследования было отобрано 95 почвенных образцов (рис. 1).

Протяженность исследуемой территории в широтном направлении 460 км, с запада на восток 215 км.

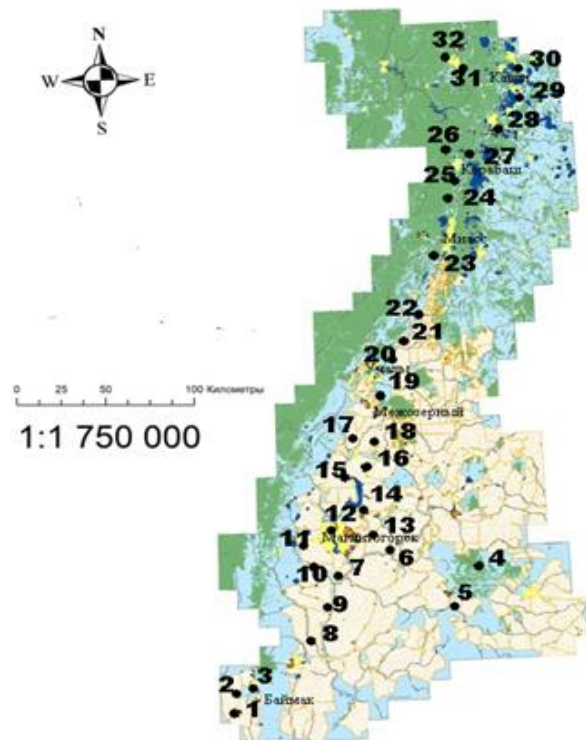


Рис. 1. Схема отбора почвенных образцов

Fig. 1. Soil sampling scheme

Для оценки изменения содержания тяжелых металлов в почве рассчитывалось фоновое их содержание. Фоновыми объектами являются почвы автономных ландшафтов [13]. Оценку содержания тяжелых металлов в почвах ландшафтов производили также в сравнении с кларком [14].

Показатель фона – это величина максимального лимита среднеарифметического значения концентрации элемента при 95 % вероятности (таблица). Превышение концентрации исследуемого элемента над фоновым содержанием свидетельствует о техногенном загрязнении. Расчёт фоновых значений производили по формулам [15].

$$\text{Среднее арифметическое } M = \frac{\sum M_i}{n};$$

$$\text{Среднеквадратическое отклонение } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (\varepsilon_i)^2}{n-1}};$$

$$\text{Коэффициент вариации } V = \frac{\sigma}{M \cdot 100 \%};$$

$$\text{Ошибка средней арифметической } P = \frac{\sum \varepsilon_i}{n};$$

$$\text{Дисперсия выборки } D = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}.$$

**Таблица.** Фоновые показатели валовых форм тяжелых металлов исследуемой территории

**Table.** Background indicators of gross forms of heavy metals in the study area

Элемент Element	Статистические параметры Statistical parameter							
	n	M	max	min	σ	V, %	P	D
Zn	24	46,80	73,00	9,57	17,20	36,77	3,59	309,52
Cd	42	0,11	0,23	0,01	0,06	54,50	0,01	0,004
Pb	29	13,43	25,70	1,70	5,93	44,19	0,98	24,33
Cu	18	20,56	29,30	9,59	4,14	20,13	1,22	27,08
Ni	7	20,80	27,65	2,80	7,96	38,30	3,27	74,94
Co	15	9,80	20,30	2,00	5,46	55,70	1,41	0,12

Примечание: n – величина выборки, M – среднее значение статистического ряда, max и min – максимальные и минимальные значения статистического ряда, V – коэффициент вариации, P – средняя арифметическая ошибка единичного определения, D – дисперсия выборки.

Note: n – sample size, M – the mean value of a statistical range, max and min – maximum and minimum values of the statistical range, V – coefficient of variation, R – the average arithmetic error of a single determination, D – the sample variance.

В ходе исследования выделено несколько типов ландшафтов, где формируются различные типы почв. В южной части территории исследуемые почвы относятся к степной почвенно-климатической области. Здесь формируются черноземы миграционно-мицелярные, карболитоземы темногумусовые и агро-черноземы миграционно-мицелярные. Для рассматриваемых черноземов характерна небольшая мощность темногумусового горизонта – до 35 см, и высокие показатели гумуса – до 10,21 %. Для карболитоземов и черноземов миграционно-мицелярных характерно наличие карбонатов в верхней части профиля. Реакция среды почвенного профиля от слабощелочной до близко к нейтральной. По гранулометрическому составу почвы тяжелосуглинистые и глинистые.

В южной лесостепи (центральная часть) формируются черноземы глинисто-иллювиальные и агро-черноземы. Мощность темногумусового горизонта до 45 см, высокое содержание гумуса – до 11,61 %, реакция среды близкая к нейтральной. По гранулометрическому составу – тяжелосуглинистые.

Горнолесная группа – здесь сосредоточены в основном литоземы темногумусовые, грубогумусовые и агролитоземы с укороченным профилем до 30 см. Со-

держание гумуса до 16,00 % в темногумусовых и от 8,70 до 10,00 % в агрогумусовых и грубогумусовых. Реакция среды близкая к нейтральной. По гранулометрическому составу легко- и среднесуглинистые.

Северная лесостепь представлена серыми типичными почвами, мощность гумусового горизонта до 35 см. Содержание гумуса до 6,68 %, это преимущественно целинные почвы, занятые естественными сенокосами. Реакция среды от кислой до слабокислой, что обусловлено аэропромвыбросами медеплавильного комбината (г. Карабаш).

Севернее формируются дерново-подзолистые почвы, в основном слабоподзолистые с высоким содержанием гумуса до 10,6 %, показатель pH от 4,2 до 5,4. Эти почвы формируются под смешанными хвойными лесами. По гранулометрическому составу легко- и среднесуглинистые.

Почвы являются геохимическим барьером, поглощая и концентрируя тяжелые металлы, поступающие атмосферным путем в непосредственной близости от источника эмиссии, тем самым образуя геохимические аномалии.

В ходе исследований установлено, что максимальная концентрация тяжелых металлов, поступивших в почвы ландшафтов, закрепляется в верхней части профиля, а содержание металлов в почвенном профиле автономных ландшафтов уменьшается, т. е. загрязнение носит нисходящий характер. Данный факт указывает на то, что высокие концентрации металлов в верхней части профиля имеют техногенную природу. В почвах подчиненных ландшафтов, подверженных избыточному увлажнению, металлы концентрируются в нижней части профиля, что связано с гидрогенной аккумуляцией. В западной части Челябинской области сосредоточена основная масса горнорудного производства, это карьеры и металлургические комбинаты (Баймакский ГОК, Магнитогорский металлургический комбинат, Карабаш Медь, г. Карабаш, и Уфалей Никель, г. Верхний Уфалей).

Концентрация тяжелых металлов в минеральном горизонте сильно варьирует. Содержание цинка – от 16,4 до 382,5 мг/кг, свинца – 4,4...117,5 мг/кг, меди – 9,6...637,5 мг/кг, никеля – 2,8...589,4 мг/кг, кобальта – 2,0...44,2 мг/кг, кадмия – 0,021...2,24 мг/кг. Как видно из представленных результатов, превышение предельно допустимой концентрации для некоторых металлов составляет сотни раз. Для органических горизонтов предел колебания в несколько раз выше, что свидетельствует о биоаккумуляции тяжелых металлов. Для цинка предел колебания от 27,0 до 3380,0 мг/кг, кадмий – 0,16...25,6, свинец – 11,3...960,0, медь – 18,8...8300,0, никель – 15,8...618,0 и кобальт – 6,1...15,2 мг/кг.

Таким образом, можно составить ранжированный ряд для минеральных горизонтов Cd>Co>Pb>Zn>Ni>Cu, и для органических горизонтов – Co>Cd>Ni>Pb>Zn>Cu.

Территорию исследования можно разделить на пять зон: 1) ландшафты, находящиеся в непосредственной близости к горнометаллургическим комбинатам; 2) карьерно-отвальные ландшафты (рудного сырья); 3) карьерно-отвальные ландшафты (нерудно-

го сырья); 4) сельскохозяйственные ландшафты; 5) целинные ландшафты.

В почвах ландшафтов, примыкающих к горно-металлургическим комплексам, среднее содержание цинка в слое 0–5 см достигает 587,1 мг/кг, в слое 15–30 см – 58,2 мг/кг. Превышение кларка выявлено только в районе медеплавильного комбината – в 68 раз, превышение фона в 72 раза. В остальных точках опробования в 2–8 раз.

Концентрация кадмия в толще 0–5 см 4,8 мг/кг, 15–30 см – 0,75 мг/кг. Величину кларка превышают точки вблизи Баймакского ГОК, Карабаш Медь, г. Карабаш, и Уфалей Никель, г. Верхний Уфалей, в пределах 8–51 раза. Превышение фона в 6–233 раза. Максимальные значения превышения выявлены в г. Карабаш.

Значения содержания валовых форм свинца в толще 0–5 см 207,2 мг/кг, 15–30 см – 22,8 мг/кг. По меди превышение по всем точкам наблюдения. В толще 0–5 см в среднем 1231,4 мг/кг, 15–30 см – 124,4 мг/кг. Превышение кларка в районах цветной металлургии – от 15 до 26 раз, черной металлургии – 15 раз. Превышение фона в 404 раза – цветная металлургия, и в 14 раз черновая.

Никель и кобальт незначительно превышают, в среднем в 2–3 раза, кларк и фоновое содержание. Никеля в слое 0–5 см – 252,12 мг/кг, кобальта – 14,3 мг/кг. В слое 15–30 см никеля – 111,9 мг/кг, кобальта – 9,9 мг/кг.

Карьерно-отвалы также поставляют в окружающие ландшафты загрязняющие вещества либо атмосферным, либо гидрогенным путем. Максимальная концентрация выявлена в почвах вблизи месторождений рудного сырья, в толще 0–5 см цинка – 103,0 мг/кг, меди – 66,2 мг/кг, никеля – 52,3 мг/кг, свинца – 33,4 мг/кг, кобальта – 12,9 мг/кг и кадмия – 2,5 мг/кг. В толще 15–30 см цинка – 85,3 мг/кг, меди – 47,4 мг/кг, никеля – 39,4 мг/кг, свинца – 18,4 мг/кг, кобальта – 20,7 мг/кг и кадмия – 0,32 мг/кг. Превышение кларка и фона незначительное – в среднем в 3–8 раз, за исключением кадмия, превышение кларка которого в 5 раз, фона в 23 раза. Карьеры нерудного сырья характеризуются еще меньшими концентрациями – превышение кларка и фона в среднем в 2–3 раза.

В сельскохозяйственных угодьях и целинных ландшафтах, удаленных на значительное расстояние от источника, ситуация складывается лучше. В слое 0–15 см цинка – 69,5 мг/кг, кадмия – 0,8 мг/кг, свинца – 17,5 мг/кг, меди – 25,5 мг/кг, никеля – 28,4 мг/кг и кобальта – 7,5 мг/кг, что на 12–17 % ниже для цинка, кадмия, свинца, меди и 51 % ниже для кобальта по сравнению с ландшафтами, расположенные вблизи металлургических комбинатов. Концентрация тяжелых металлов в этих ландшафтах обусловлена естественным геохимическим фоном, незначительные превышения обусловлены атмосферным привнесением тяжелых металлов, связанным с аэропромвыбросами комбинатов, что явилось причиной превышения кларка и фона в среднем в 2 раза, для кадмия – в 10 раз, 17, 18 точки (рис. 1).

В геохимических исследованиях одной из характеристик обстановки окружающей среды является выде-

ление техногенных аномалий. Они образуются в результате поступления веществ химической природы от техногенных источников. Одним из показателей аномальности служит коэффициент техногенной концентрации  $K_c$ .  $K_c$  от 3 до 10 – средняя степень загрязнения элементами,  $K_c$  2,5 – минимальная концентрация антропогенной геохимической аномалии [16, 17].

Кроме этого, проводилась экологическая оценка района по степени суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами. Оценка проводилась по формуле Саета [18].

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1),$$

где  $K_c$  – коэффициент концентрации  $K_c = \frac{C_i}{C_\phi}$ ;

$C_i$  – истинное содержание элемента;  $C_\phi$  – фоновое содержание элемента;  $n$  – общее число элементов.

Как показывает анализ  $K_c$ , коэффициент концентрации превышает фоновое значение. По этим данным были построены ранги тяжелых металлов. В южной части территории (Баймак)  $Cu_3 > Zn_2 > (Pb, Ni, Co, Cd)_1$ . В районе города Магнитогорск  $Cu_3 > (Ni, Co, Zn, Cd)_1$ . В северной части территории, г. Карабаш,  $Cu_3 > Pb_1 > Zn_2 > (Cd, Co, Ni)_1$ . В районе города Верхний Уфалей, где на протяжении 84 лет действовал никелевый комбинат,  $Ni_{12} > Pb_3 > Zn_1 > (Cd, Cu, Co)_1$ .

Значение суммарного показателя загрязнения на исследуемых ландшафтах сильно различается и зависит от близости источника загрязнения. Большая часть ландшафтов характеризуется средним уровнем  $Z_c$  – от 8 до 19 (точки 2, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 20, 23, 29, 32), за исключением участков, где сосредоточена цветная отрасль, – здесь показатель загрязнения  $Z_c$  – от 62 до 76 (сильное и очень сильное загрязнение) (точки 9, 24, 25, 26, 31). Объекты, расположенные на значительном удалении от источника загрязнения  $Z_c$  – от 3 до 7 (точки 1, 3, 4, 15, 17, 18, 19, 21, 22, 27, 28, 30) (рис. 1).

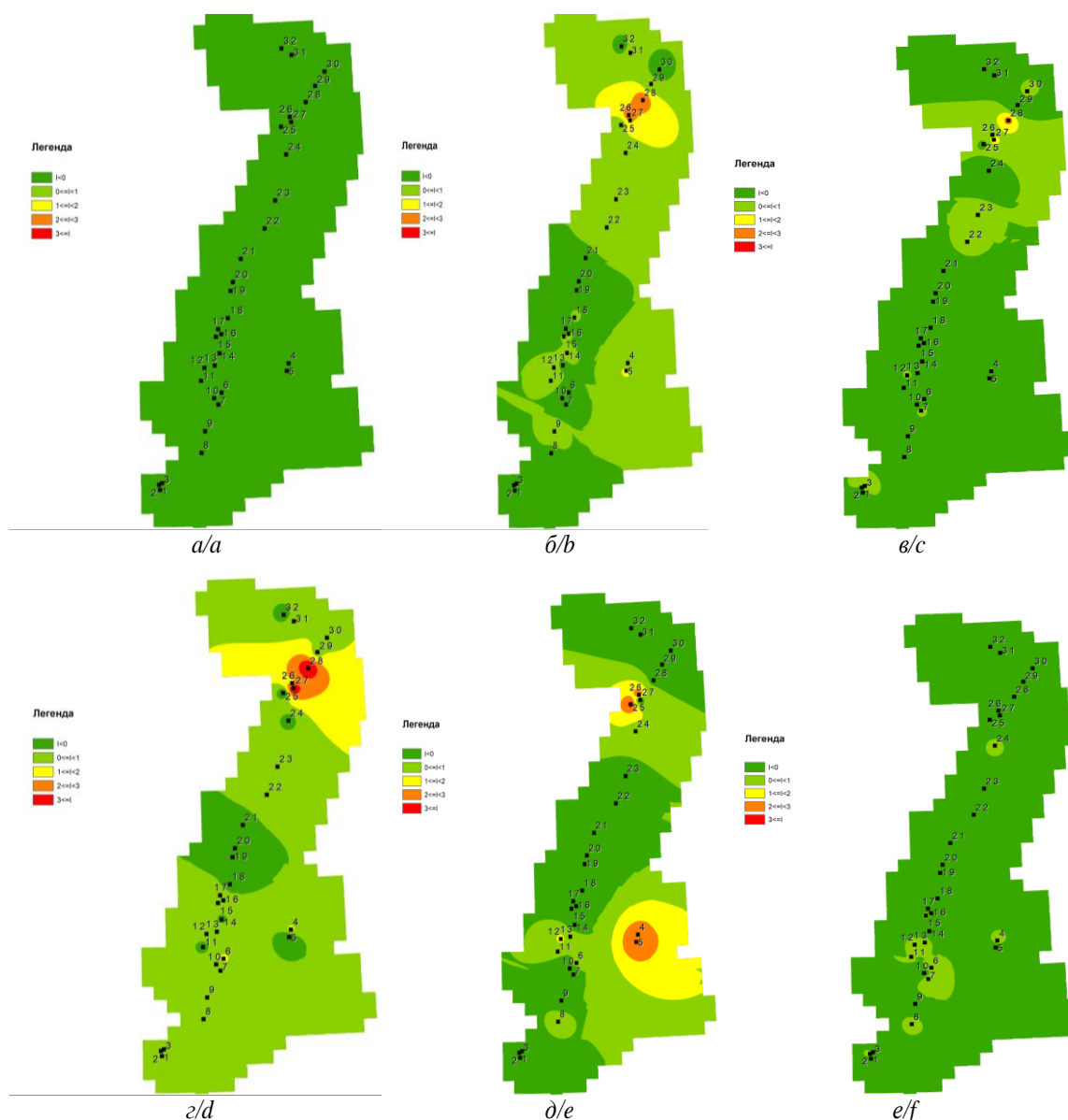
Индекс геоаккумуляции предложен для оценки уровня загрязнения донных отложений Г. Мюллером [19–21]. Этот индекс может быть использован для оценки загрязнения почв [20–24].  $I_{geo}$  вычисляют по уравнению

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5 B_n},$$

где  $C_n$  – содержание элемента в почве;  $B_n$  – геохимический фон; 1,5 – коэффициент, компенсирующий фоновое содержание за счет литогенных факторов.

$I_{geo}$  делится на семь классов [25]:

- $I_{geo} \leq 0$  – практически незагрязненный;
- $0 < I_{geo} < 1$  – незагрязненный до умеренно загрязненного;
- $1 < I_{geo} < 2$  – умеренно загрязненный;
- $2 < I_{geo} < 3$  – средне загрязненный;
- $3 < I_{geo} < 4$  – сильно загрязненный;
- $4 < I_{geo} < 5$  – сильно загрязненный до чрезмерно загрязненного;
- $5 < I_{geo}$  – чрезмерно загрязненный.



**Рис. 2.** Картограммы индекса геоаккумуляции ( $I_{geo}$ ); а) Zn, б) Cd, в) Pb, г) Cu, д) Ni, е) Co  
**Fig. 2.** Map of geo-accumulation index ( $I_{geo}$ ); a) Zn, b) Cd, c) Pb, d) Cu, e) Ni, f) Co

По шкале Мюллера рассчитанные геоаккумулятивные индексы для Zn, Cd, Pb, Cu, Ni и Co находятся в широком диапазоне. По полученным данным видно, что степень загрязнения участков, находящихся в непосредственной близости к горно-металлургическим комбинатам, карьерам, отвалам, от сильной до умеренной. Те участки, которые находятся на удалении от источника загрязнения, классифицируются как практически незагрязненные. Самые низкие значения  $I_{geo}$  по всей исследуемой территории установлены для кадмия – он относится к классу 0-1 (загрязненный до умеренно загрязненного) (рис. 2, б) и кобальту – 0-1 и <1, что свидетельствует что общий вклад в загрязнение территории незначительный и в основном соответствует фоновому содержанию. Самые высокие значения  $I_{geo}$  для меди – 4,41 (рис. 2, д) – очень сильное загрязнение, свинец и никель классифицируются как средне загрязненные (рис. 2, в), цинк (рис. 2, а) преимущественно умеренно загрязненные. На общем

фоне выделяются два участка, связанные с черной (г. Магнитогорск) и цветной металлургией (г. Карабаш).

В районе города Магнитогорск концентрируются литофильные элементы Ni и Co, в северной части исследуемой территории, г. Карабаш, преимущественно халькофильные Cu, Zn, Pb и литофильные Ni. Эти предприятия оказывают огромное влияние на загрязнение ландшафтов и их трансформацию.

Карьерно-отвалы также привносят как литофильные, так и халькофильные элементы, но последние доминируют. Эти ландшафты характеризуются как умеренно и средне загрязненные.

#### Заключение

Геохимическое исследование территории выявило, что воздействие горной промышленности обуславливается видом полезного ископаемого, технологией добычи и переработки. В связи с этим концентрация тяжелых металлов в почвах ландшафтов варьирует в

широком диапазоне. Максимальные концентрации тяжелых металлов выявлены в органогенных горизонтах, превышение фона в сотни раз для всех изученных металлов на глубине 0–15 см, что свидетельствует об их техногенном происхождении.

По данным исследования установлено, что в почвах ландшафтов, подверженных техногенному воздействию, особенно в районах переработки руд цветных металлов (г. Карабаш), превышение фона по меди в 404 раза, кадмию – 233, цинку – 68 и кобальту с никелем в 2–3 раза. Поступление металлов в основном за счет аэропромвыбросов. В условиях добычи руд цветных металлов превышение в среднем в 3–8 раз, тяжелые металлы поступают либо атмосферным, либо гидрогенным путем с отвалов. В районе переработки руд черных металлов ситуация складывается намного лучше, концентрируется преимущественно медь, превышение фона составляет 14 раз, цинк – в 6 раз и кадмий – в 8 раз.

Современная эколого-геохимическая обстановка западной части Челябинской области и востока республики Башкортостан по содержанию Zn, Cd, Pb, Cu, Ni и Co свидетельствует, что участки, подверженные техногенному воздействию, имеют от сильной до

очень сильной степень загрязнения, остальные природные ландшафты – слабая и средняя степень загрязнения. В целом геохимическая картина по содержанию тяжелых металлов исследуемой территории удовлетворительная.

По индексу геоаккумуляции были созданы картограммы, из которых видно, что загрязнению свинцом и медью подвержено более 50 % территории, цинком и никелем в меньшей степени, кобальт и кадмий находятся на уровне естественного геохимического фона, за исключением участков, подверженных техногенной нагрузке.

По итогам проведенных работ, в соответствии с «Правилами охраны недр», вблизи карьеров и отвалов, на расстоянии до 500 м, на землях, используемых в сельскохозяйственном обороте, в степной зоне исследуемой территории следует производить работы, препятствующие атмосферному и гидрогенному поступлению загрязняющих веществ. В горнолесной зоне на западе исследуемой территории необходимо проводить биологическую рекультивацию склонов, препятствующую развитию ветровой и водной эрозии, осуществлять мониторинг земель, находящихся в непосредственной близости от источников загрязнения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Forman R.T.T. Ecologically sustainable landscape: the role of spatial configuration. An Ecological Perspective. – New York: Springer, 1990. – 286 p.
2. Lin Y.P., Teng T.P., Chang T.K. Multivariate analysis of soil heavy metal pollution and landscape pattern in Changhuacounty in Taiwan // Landscape and Urban Planning. – 2002. – V. 62. – № 1. – P. 19–35. DOI: 10.1016/S0169-2046(02)00094-4.
3. Leduc A., Prairie Y., Bergeron Y. Fractal dimension estimates of a fragmented landscape: source of variability // Landscape Ecological. – 1994. – V. 9. – P. 279–286. DOI: doi.org/10.1007/BF00129239
4. Пахомов В.П., Душин А.В. Оценка минерально-сырьевой безопасности Уральского Федерального округа // Экономика региона. – 2008. – № 3 (15). – С. 129–143.
5. Калашников Ю.А. Адаптация промышленности региона к тенденциям развития мирового хозяйства (на примере Челябинской области) // Вестник Челябинского государственного университета. – 2014. – № 5 (334). – С. 115–120.
6. Наумов И.В., Красных С.С. Исследование межрегиональных взаимосвязей в процессах развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2019. – № 8. – С. 108–124. DOI: doi.org/10.21440/0536-1028-2019-8-108-124
7. Fingerprinting sedimentary and soil units by their natural metal contents: a new approach to assess metal / A. Amorosi, M. Guermandi, N. Marchi, I. Sammartino // Science of the Total Environment. – 2014. – V. 500–501. – P. 361–372. DOI:10.1016/j.scitotenv.2014.08.078
8. Brian J.A. Sources of heavy metals and metalloids in soils // Heavy Metals in Soils. – 2012. – V. 22. – P. 11–50. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7\_2
9. Heavy metal soil contamination around the metallurgical plant of Elbasani in Albania / Fatbardh Sallaku, Shkelqim Fortuzi, Odeta Tota, Bujar Huqi, Demosthenis Chachalis, Mohamend Darawseh // Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2009. – V. 7 (2). – P. 878–881.
10. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2004. – 342 с.
11. ГОСТ 26483-85. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. – М: Изд-во стандартов, 1985. – 6 с.
12. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы. – М.: Изд-во Агропромиздат, 1986. – 416 с.
13. Блохин Е.В., Грошев И.В. Эколого-геохимическое состояние почвенного покрова Оренбургской области // Охрана окружающей среды Оренбургской области: Информационно-аналитический ежегодник. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2002. – С. 103–122.
14. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, 1957. – 238 с.
15. Савич В.И. Применение вариационной статистики в почвоведении. – М.: Изд-во ТСХА, 1972. – 104 с.
16. Грошев И.В. Мониторинг почв и земель Оренбургской области по загрязнению тяжелыми металлами // Охрана окружающей среды Оренбургской области: Информационно-аналитический ежегодник. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2000. – С. 145–166.
17. Комплексное районирование территории по степени экологического неблагополучия / Ю.А. Тунакова, Г.Н. Жданова, Д.В. Иванов, А.Р. Богданов // Безопасность жизнедеятельности. – 2001. – № 1. – С. 30–37.
18. Саег Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. Геохимия окружающей среды. – М.: Изд-во «Недра», 1990. – 335 с.
19. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River // Geojournal. – 1969. – V. 2. – P. 108–118.
20. Geoaccumulation assessment of heavy metal pollution in Ikwo soils, eastern Nigeria / A.A. Tyopine, T.J. Jayeoye, Ch.O.B. Okoye // Environmental Monitoring Assess. – 2018. – V. 190. – Article number 58. DOI: doi.org/10.1007/s10661-017-6423-3
21. Assessment of the heavy metal contamination using GIS-based approach and pollution indices in agricultural soils from Beni Amir irrigated perimeter, Tadla plain, Morocco / H. Oumenskou, M.E. Baghdadi, A. Barakat, M. Aquit, W. Ennaji, L.A. Karroum, M. Aadraoui // Arabian Journal of Geosciences. – 2018. – V. 11. – Article number 692. DOI: doi.org/10.1007/s12517-018-4021-5
22. Pollution indices as comprehensive tools for evaluation of the accumulation and provenance of potentially toxic elements in soils in Ojców National Park / R. Mazurek, J.B. Kowalska, M. Gąsiorek, P. Zadrożny, J. Wiczorek // National Park Journal of Geochemical Exploration. – 2019. – V. 201. – P. 13–30. DOI: 10.1016/j.gexplo.2019.03.001.
23. Isaac A.O. An assessment of heavy-metal contamination in soils within auto-mechanic workshops using enrichment and

- contamination factors with geoaccumulation indexes // Journal of Environmental Protection. – 2014. – V. 5. – № 11. – P. 970–982. DOI: 10.4236/jep.2014.511098
24. Heavy metal speciation and pollution of agricultural soils along Jishui River in non-ferrous metal mine area in Jiangxi Province, China / G.N. Liu, L. Tao, X.H. Liu, J. Hou, A.J. Wang, R.P. Li // Geochem Exploration. – 2013. – V. 7 (2). – P. 156–163.
25. Charzyński P., Plak A., Hanaka A. Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors // Environmental Science and Pollution Research. – 2017. – V. 24. – P. 4801–4811. DOI: 10.1007/s11356-016-8209-5

*Поступила 23.12.2020 г.*

#### **Информация об авторах**

**Шабанов М.В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой Санкт-петербургского Государственного аграрного университета.

**Стрекулев Г.Б.**, аспирант кафедры земельных отношений и кадастра Санкт-Петербургского Государственного аграрного университета.

UDC 504.056; 911.5

## GEOCHEMICAL PROCESSES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN THE LANDSCAPES OF THE SOUTHERN URALS

**Mikhail V. Shabanov**<sup>1</sup>,  
geohim.spb@gmail.com

**Grigory B. Strekulev**<sup>1</sup>,  
strekulev@gmail.com

<sup>1</sup> Saint Petersburg State Agrarian University,  
2, Petersburg highway, Pushkin, 196601, Russia.

**Relevance.** Various types of landscapes, which are intensively used both in agricultural and mining production are developed in the study area. Mining and processing of ore raw materials involves chemical elements in the cycle, which enter the surrounding landscapes by aerogenic or atmogetic means and pollute them. This leads to transformation of landscapes, there are man-made and geochemical anomalies. Therefore, the ecological and geochemical characteristics allow us identifying the main technogenic factors that affect negatively the surrounding landscapes.

**The main aim** of the research is to assess the geochemical levels of heavy metals in natural and anthropogenic landscapes.

**Objects:** soil of natural and man-made landscapes.

**Methods:** selection and preparation of soils, determination of the elemental composition of soils by instrumental inversion voltammetric method.

**Results.** The paper introduces the results of geochemical studies of soils of natural and technogenic landscapes (the Western part of the Chelyabinsk region and the East of the Republic of Bashkortostan). The background content for heavy metals Zn, Cd, Pb, Cu, Ni, and Co was calculated to assess the degree of contamination. Several types of landscapes (mountain, foothill, steppe, and forest) were identified in the study area. The impact of mining and metallurgical enterprises of ferrous and non-ferrous metallurgy, quarry-dump arrays of ore material and non-metallic on soil pollution was evaluated. It was found that the maximum excess of the background content of metals is in the vicinity of metallurgical plants, the lowest degree is near the quarry-dump systems. According to the total pollution index, it is found that the landscape soils are classified from medium to severe pollution. According to the geoaccumulation index, the main centers of pollution were identified and maps were drawn up.

### Key words:

Soil pollution, soil elemental composition, total pollution index, geoaccumulation index, geochemical anomalies.

### REFERENCES

- Forman R.T.T. *Ecologically sustainable landscape: the role of spatial configuration. An Ecological Perspective*. New York, Springer, 1990. 286 p.
- Lin Y.P., Teng T.P., Chang T.K. Multivariate analysis of soil heavy metal pollution and landscape pattern in Changhua country in Taiwan. *Landscape and Urban Planning*, 2002, vol. 62, no. 1, pp. 19–35. DOI: 10.1016/S0169-2046(02)00094-4.
- Leduc A., Prairie Y., Bergeron Y. Fractal dimension estimates of a fragmented landscape: source of variability. *Landscape Ecological*, 1994, vol. 9, pp. 279–286. DOI: doi.org/10.1007/BF00129239
- Pakhomov V.P., Dushin A.V. Otsenka mineralno-syrevoy bezopasnosti Uralskogo Federalnogo okruga [Evaluation of the mineral resource base of the Ural Federal district]. *Ekonomika regiona*, 2008, no. 3 (15), pp. 129–143.
- Kalashnikov Yu.A. Adaptatsiya promyshlennosti regiona k tendentsiyam razvitiya mirovogo khozyaystva (na primere Chelyabinskoy oblasti) [Adapting industry to the development trends of the world economy (on the example of Chelyabinsk region)]. *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2014, no. 5 (334), pp. 115–120.
- Naumov I.V., Krasnykh S.S. Research of inter-regional relationships in the development of the mineral resource complex of the Russian Federation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*, 2019, no. 8, pp. 108–124. In Rus. doi.org/10.21440/0536-1028-2019-8-108-124
- Amorosi A., Guermandi M., Marchi N., Sammartino I. Fingerprinting sedimentary and soil units by their natural metal contents: a new approach to assess metal. *Science of the Total Environment*, 2014, vol. 500–501, pp. 361–372. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.08.078
- Brian J.A. Sources of heavy metals and metalloids in soils. *Heavy Metals in Soils*, 2012, vol. 22, pp. 11–50. DOI: 10.1007/978-94-007-4470-7\_2
- Fatbardh Sallaku, Shkelqim Fortuzi, Odeta Tota, Bujar Huqi, Demosthenis Chachalis, Mohamend Darawsheh. Heavy metal soil contamination around the metallurgical plant of Elbasani in Albania. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2009, vol. 7 (2), pp. 878–881.
- Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk, Oikumena Publ., 2004. 342 p.
- GOST 26483-85. *Prigotovlenie solevoy vityazhki i opredelenie ee pH po metodu TsINAO* [State Standart 26483-85. Preparation of salt extract and determination of its pH using the tsinao method]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1985. 6 p.
- Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochvy* [Methods for studying the physical properties of soil]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 416 p.
- Blokhin E.V., Groshev I.V. Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie pochvennogo pokrova Orenburgskoy oblasti [Ecologo-geochemical state of the soil cover of the Orenburg region]. *Okhrana okruzhayushchei sredy Orenburgskoy oblasti: Informatsionno-analiticheskii ezhegodnik* [Environmental Protection of the Orenburg region: Information and analytical Yearbook]. Orenburg, Orenburg state University Publ., 2002. pp. 103–122.
- Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and scattered chemical elements in soils]. Moscow, Izdatelstvo Selskokhozyaystvennoy literatury, 1957. 238 p.
- Savich V.I. *Primenenie variatsionnoy statistiki v pochvovedenii* [Application of variational statistics in soil science]. Moscow, TSKhA Publ., 1972. 104 p.
- Groshev I.V. Monitoring pochv i zemel Orenburgskoy oblasti po zagryazneniyu tyazhelymi metallami [Monitoring of soils and lands of the Orenburg region on pollution with heavy metals].



- Okhrana okruzhayushchey sredy Orenburgskoy oblasti: Informatsionno-analiticheskii ezhegodnik* [Environmental Protection of the Orenburg region: Information and analytical Yearbook]. Orenburg, Orenburg State University Publ., 2000. pp. 145–166.
17. Tunakova Yu.A., Zhdanova G.N., Ivanov D.V., Bogdanov A.R. Kompleksnoe raionirovanie territorii po stepeni ekologicheskogo neblagopoluchiya [Complex zoning of the territory according to the degree of ecological trouble]. *Bezopasnost zhiznedeystvennosti*, 2001, no. 1, pp. 30–37.
  18. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* [Environmental geochemistry]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 335 p.
  19. Muller G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, 1969, vol. 2, pp. 108–118.
  20. Tyopine A. A., Jayeoye T. J., Okoye Ch. O. B. Geoaccumulation assessment of heavy metal pollution in Ikwo soils, eastern Nigeria. *Environmental Monitoring Assess*, 2018, vol. 190, Article number 58. DOI: doi.org/10.1007/s10661-017-6423-3
  21. Oumenskou H., Baghdadi M.E., Barakat A., Aquit M., Ennaji W., Karroum L.A., Aadraoui M. Assessment of the heavy metal contamination using GIS-based approach and pollution indices in agricultural soils from Beni Amir irrigated perimeter, Tadla plain, Morocco. *Arabian Journal of Geosciences*, 2018, vol. 11, Article number 692 DOI: doi.org/10.1007/s12517-018-4021-5
  22. Mazurek R., Kowalska J.B., Gąsiorek M., Zadrożny P., Wiczorek J. Pollution indices as comprehensive tools for evaluation of the accumulation and provenance of potentially toxic elements in soils in Ojców National Park. *Journal of Geochemical Exploration*, 2019, vol. 201, pp. 13–30 DOI: 10.1016/j.gexplo.2019.03.001.
  23. Isaac A.O. An assessment of heavy-metal contamination in soils within auto-mechanic workshops using enrichment and contamination factors with geoaccumulation indexes. *Journal of Environmental Protection*, 2014, vol. 5, no. 11, pp. 970–982. DOI: 10.4236/jep.2014.511098
  24. Liu G.N., Tao L., Liu X.H., Hou J., Wang A.J., Li R.P. Heavy metal speciation and pollution of agricultural soils along Jishui River in non-ferrous metal mine area in Jiangxi Province, China. *Geochem Exploration*, 2013, vol. 7.(2), pp. 156–163.
  25. Charzyński P., Plak A., Hanaka A. Influence of the soil sealing on the geoaccumulation index of heavy metals and various pollution factors. *Environmental Science and Pollution Research*, 2017, vol. 24, pp. 4801–4811. DOI: 10.1007/s11356-016-8209-5

Received: 23 December 2020.

#### Information about the authors

**Mikhail V. Shabanov**, Cand. Sc., associate professor, Saint Petersburg State Agrarian University.

**Grigory B. Strekulev**, post-graduate student, Saint Petersburg State Agrarian University.