

УДК 504.05: 911.502:631.4

ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОМ ТЕХНОГЕНЕЗЕ

Шабанов Михаил Викторович¹,
geohim.spb@gmail.com

Маричев Максим Сергеевич,
m.s.marichev@yandex.ru

¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
Россия, 196607, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2.

Актуальность. Структуризация и формирование природно-территориальных комплексов происходит на протяжении длительного времени. За весь период преобразования и установления стабильно устойчивых территорий ландшафты претерпевают значительные изменения. Одним из факторов аналогичной трансформации является техногенная деятельность горнопромышленной отрасли, в связи с чем проводится оценка преобразованности, изучение процессов и схем преобразованности ландшафтов под действием техногенеза как одного из главных критериев, учитывающих месторасположение и расширение данных отраслей промышленности, что и обуславливает актуальность данной работы.

Цель: произвести оценку экологической напряженности и видоизмененности ландшафтов, подверженных интенсивной техногенной нагрузке, в районе деятельности медеплавильного комбината.

Объекты: компоненты ландшафтного комплекса и почвенный покров в районе интенсивной техногенной нагрузки, расположенные в окрестностях города Красноуральск, Свердловской области.

Методы: оценка экологической напряженности территории; расчет коэффициента экологической защищенности ландшафтов по методике Б.И. Кочурова; расчет коэффициента радиальной дифференциации мышьяка в почвенном покрове в зоне интенсивной техногенной нагрузки.

Результаты. Произведен анализ отдельных компонентов ландшафтных комплексов. Выявлены характеристики процессов видоизменения территорий, подверженных техногенной нагрузке. После расчетов коэффициента экологической стабильности по методике Б.И. Кочурова выявлено, что исследуемые ландшафты имеют острую экологическую ситуацию и обладают малой стабильностью. В качестве подтверждения техногенной нагрузки измерялась концентрация мышьяка в почвах исследуемых территорий, в результате чего зафиксированы превышения предельно допустимой концентрации в видоизмененных ландшафтах. В ходе подсчета коэффициента радиальной миграции мышьяка в почве объясняются процессы техногенной нагрузки.

Ключевые слова:

Природно-территориальные комплексы, горнопромышленный техногенез, видоизменение ландшафтов, радиальная дифференциация мышьяка.

Введение

Естественные ландшафты формировались на протяжении длительного времени, образуя самостоятельно развитые системы. В свою очередь, чем более обширным и компонентным является ландшафтный комплекс, тем большей стабильностью он обладает. К наиболее устойчивым относятся ландшафтные местности, сложенные из групп урочищ, таких как лесные ландшафты. В данных структурах происходит саморегуляция сопряженных друг с другом областей за счет постоянного обмена и пополнения компонентов. Как и любая система, ландшафтные комплексы стремятся к своему динамическому равновесию, балансу, который порой нарушается с воздействием техногенной деятельности человека. Первый удар на себя принимают низшие ландшафтные единицы – фации, являющиеся наименее устойчивыми и имеющие высокую степень взаимосвязи компонентов. Наличие обильных техногенных потоков нарушает целостность системы, видоизменяя ее облик. Тип изменения может быть настолько велик, что затрагивает литологическую структуру.

Одним из мощных источников изменения ландшафтов является горнообогатительное производство,

способствующее нарушению естественных природных компонентов систем и образованию карьерно-отвалных комплексов. В результате переработки или вскрытия пород образуются массивные отвалы шлама и шлака, складываемые на близлежащих территориях. Под действием экзогенных процессов происходит преобразование сопряженных с ними ландшафтов. Усилению трансформации природно-территориальных комплексов способствуют газопылевые выбросы комбината, несущие токсичные элементы, которые, в свою очередь, приводят к гибели растительности и еще большим изменениям в облике с развитием эрозионных процессов. При этом почвенный покров вблизи комбината переходит в разряд техногенных поверхностных образований, а в каких-то случаях в хемоземы. Подобные исследования данной проблемы отражены в работах российских и зарубежных исследователей [1–8].

Целью данной работы является оценка трансформации природно-территориальных комплексов в зоне горнопромышленного техногенеза на примере Красноуральского промузла.

Для осуществления поставленной цели решались следующие задачи:

- 1) произвести оценку экологической напряженности и коэффициента естественной защищенности ландшафтов в окрестностях комбината по методике Б.И. Кочурова;
- 2) проследить пространственные изменения радиальной миграции мышьяка в почвах, как одного из индикаторов преобразованности ландшафтных структур.

Материалы и методики исследования

Территория исследуемого района расположена в импактной зоне в окрестностях Красноуральского медеплавильного комбината, имеет общую площадь порядка 101 км². При изучении ландшафтной структуры определялись общепринятые параметры следующих компонентов: степень угнетения и изменения растительности; почвенный покров – его типоморфные особенности; элементные участки рельефа; концентрация и радиальная дифференциация мышьяка в почвенном покрове [9].

Оценка устойчивости проводится исходя из критериев значимости экологических функций определенных территорий, их устойчивости к видоизменению. Среди основных индикаторов чувствительности ландшафтных зон наиболее репрезентативным считается коэффициент естественной защищенности территории, рассчитываемый по методике Б.И. Кочурова [10], в которой земли, имеющие очень низкую антропогенную нагрузку (природоохранные и неиспользуемые), относящиеся к экологическому фонду, выделены в качестве обладающих высшей способностью к средостабилизации.

Для более точного определения изменения ландшафтной структуры необходим не только анализ морфологических преобразованностей, но и наличие техногенных компонентов, отраженных в химиче-

ском составе исследуемых территорий. Мышьяк является одним из основных элементов, вовлекаемых в геохимический круговорот лишь путем техногенного цикла массопереноса. Поступление данного элемента в районе Красноуральского промузла происходит в результате возгонки продуктов переработки медьсодержащего сырья, в котором мышьяк содержится в виде изоморфных соединений с серой. В отличие от других элементов, концентрация данного поллютанта в породах исследуемой территории находится ниже значений ПДК или вовсе не обнаружена [11]. Таким образом, его наличие и степень распространения в почвах указывают на интенсивность техногенного воздействия комбината на трансформацию ландшафтов.

Определение мышьяка проводилось методом инверсионной вольтамперометрии в лаборатории кафедры почвоведения и агрохимии СПбГАУ с помощью вольтамперометрического анализатора ТА-Lab по методике МУ 31-11/05, внесенной в Федеральный реестр методик измерений под номером: ФР.1.31.2005.02119.

Результаты исследования и обсуждения

Оценка устойчивости территории проводилась в импактной зоне не более 5 км от комбината. Общая площадь данной территории составляет 101,57 км², из которых ландшафты, имеющие высшую степень техногенной нагрузки (по Б.И. Кочурову) (земли промышленных территорий, селитебные районы, нарушенные земли, карьеры, отвалы и т. д.), имеют площадь 36,41 км². К высокой степени антропогенной нагрузки (вырубки, пахотные земли, сенокосы, пастбища, не используемые рационально) относится 2,33 км² данной территории. К низкой и очень низкой (природоохранные и неиспользуемые земли) – 1,03 и 61,8 км² исследуемых площадей соответственно (рис. 1).

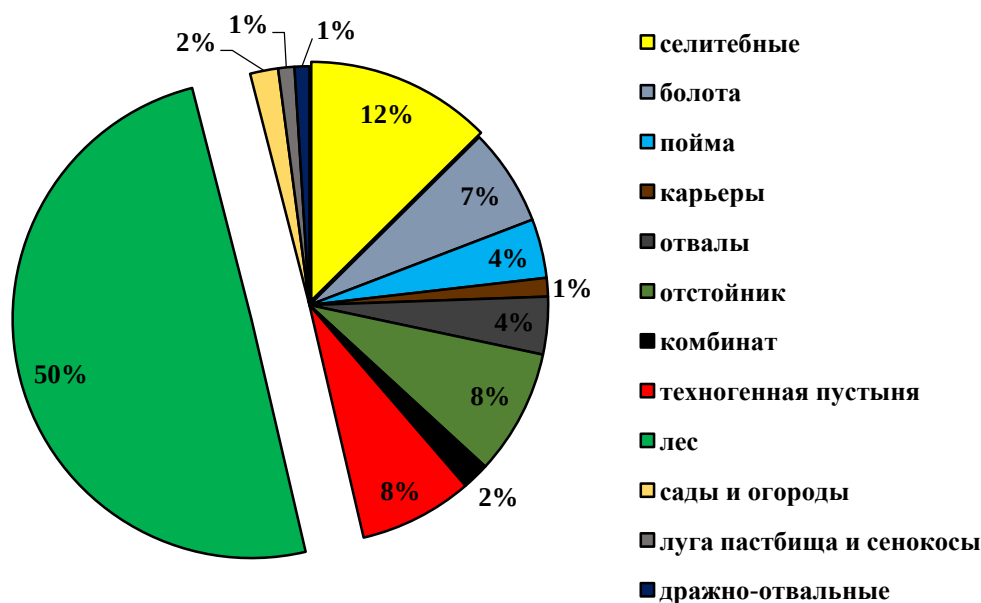


Рис. 1. Соотношение площадей ландшафтов, %

Fig. 1. Ratio of landscape areas, %

На исследуемой территории большая доля приурочена к лесным ландшафтам, представленным как березово-еловыми фациями, распространенными преимущественно на юго-западе, – около 21 % (рис. 2, п. 1), так и сосново-еловыми, расположенными в северных и восточных областях, занимающих порядка 30 % от исследуемой территории (рис. 2, п. 2).

Нижний ярус наземного покрова представлен сфагновыми, гипновыми мхами, лишайниками с невысокой долей злаковой растительности. Почвенный покров образован дерново-подзолистыми почвами с разной степенью оподзоленности [12] на делювиальных бурых супесях и суглинках с выветрелым щебнем местных пород – Р,dlлlсr [13]. Рельеф преимущественно увалисто-равнинный с незначительными перепадами высот, не превышающими 40 м. Типоморфные особенности данных ландшафтов связаны с естественными природными процессами и образуют местности с высокой средостабилизацией. В районах, находящихся в непосредственной близости или по направлению преобладающих ветров относительно комбината, происходят изменения в морфологии описываемых угодий, что обусловлено влиянием токсичных газопылевых выбросов медеплавильного комби-

ната. Высокая нагрузка аэрозольных выбросов медеплавильного производства на прилегающие ландшафты отмечается преимущественно по направлению преобладающих ветров относительно источника эмиссии [14].

На исследуемых территориях преобразования отражаются в появлении изреженного, сильно угнетенного древостоя с практически полным отсутствием травянистого покрова. Почвы обладают повышенным гидроморфизмом и слабой оструктуренностью. Описываемым трансформациям подвержены порядка 27 % лесных угодий (рис. 2, п. 14).

Аналогичному изменению в ландшафтной морфоструктуре подвергаются урочища лугов, пастбищ и сенокосов, суммарно занимающих не более 1,5 % территории. Местоположение в основном приурочено к окраинам селитебных районов, которые располагаются как на террасированных, так и на плакорных участках. Фитоценотический состав представлен лугово-злаковым разнотравьем. Почвенный покров сложен дерново-слабоподзолистыми почвами и хемоземами по дерново-слабоподзолистым почвам, подстилаемым суглинками с дресвой и щебнем элюво-делювия – Ре,dlлl–H [13].

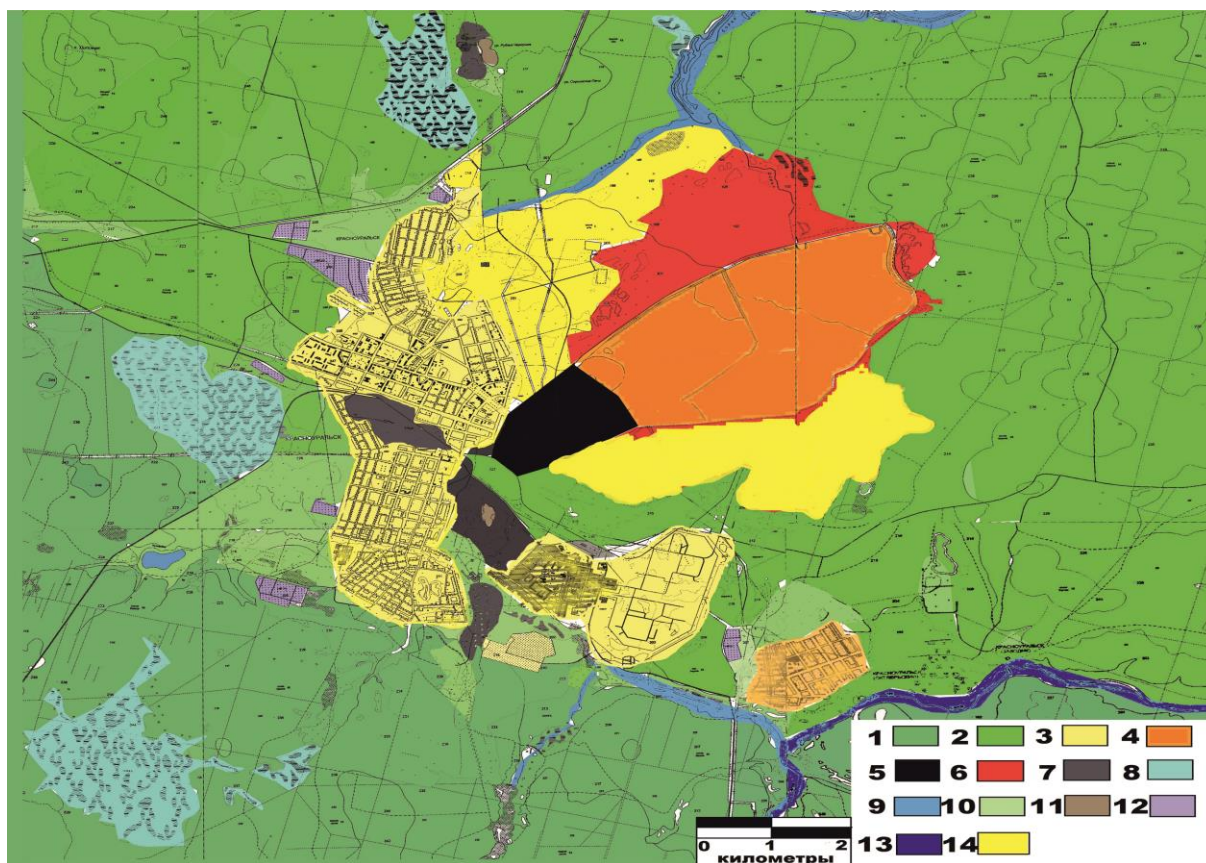


Рис. 2. 1 – березово-еловый лес; 2 – сосново-еловый лес; 3 – селитебные ландшафты; 4 – хвостохранилище; 5 – территория комбината; 6 – ландшафты техногенной пустыни; 7 – ландшафты техногенных отвалов; 8 – болотные ландшафты; 9 – пойменные ландшафты; 10 – пастбища и сенокосы; 11 – карьеры; 12 – сады и огороды; 13 – дражно-отвальные ландшафты; 14 – деградированные лесные ландшафты

Fig. 2. 1 – birch and spruce forest; 2 – pine and spruce forest; 3 – residential landscapes; 4 – tailing; 5 – territory of the plant; 6 – landscapes of of technogenic desert; 7 – landscapes of technogenic dumps; 8 – swamp landscapes; 9 – floodplain landscapes; 10 – pastures and hayfields; 11 – careers; 12 – gardens and kitchen gardens; 13 – dredge-dumping landscapes; 14 – degraded forest landscapes

Болотные урочища занимают порядка 9 % территории, распространены в основном в лесных ландшафтных зонах на западе и севере исследуемой территории. Образуются в депрессионных элементах рельефа и долинах рек за счет обильного питания атмосферными осадками и дополнительного стока со смежных плакорных и супераквальных областей. Представлены торфяно-олиготрофными почвами (рис. 2, п. 8). Растительный покров сформирован сосново-березовым древостоем с гипново-сфагновым наземным покровом. За счет своей отдаленности от источников техногенеза данные фации образуют естественно-природные формации без изменений по морфологическим признакам.

На долю пойменных ландшафтов приходится порядка 4 % территории (рис. 2, п. 9). Данные урочища образованы долинами рек Айва, Салда, Кушайка, морфоструктура которых сформирована пологими террасированными склонами. Пойма реки Салда складывается как аллювиальными почвами и наносами на гравийно-галечниковом аллювии – Pall [13], так и дражно-отвальными массами породы, после золото-добычи, составляющими около 1 % исследуемых площадей (рис. 2, п. 13). В результате промышленной деятельности и горнодобывающего производства пойменные ландшафты данной территории видоизменились в натурфабрикаты гетерогенного состава. В долине реки Айва, из-за обильных техногенных потоков, поступающих в гидрохимическую сеть из Салдинского отстойника, структура и текстура аллювиальных отложений трансформировалась в техноземы, лишенные фитомассы.

Селитебные ландшафты распространены на 13 % от всей исследуемой территории (рис. 2, п. 3). К данной структуре относятся зоны сельских и городских агломераций. Особенности почвенного покрова определяются месторасположением и принадлежностью отдельных фаций к искусственно созданным и регулируемым деятельностью человека, занимающих определенную нишу в комплексе. Коренными почвами данных ландшафтов являются дерново-слабоподзолистые на суглинках и глинах с выветрелым щебнем и глыбоватыми настилами делювия – Pdllslv [13]. Растительность представлена как естественно сформированными урбонейтральными видами (подорожниковые) и урбанofiлами (кипрейные и астровые), так и искусственно образованными насаждениями (дуб, клен, тополь с разнотравно-злаковым наземным покровом), совокупность которых формирует парковые зоны и межазстройные озелененные районы. Характерной чертой селитебных ландшафтов является их постоянное регулирование и изменение морфоструктуры.

Территория комбината относится к техногенно-промышленным ландшафтам, на ее долю приходится порядка 3 % от суммы площадей (рис. 2, п. 5). Участки данного района представлены инженерными сооружениями различного типа, как производственного и вспомогательного (здания, цеха, дороги), так и искусственного и рекреационного назначения (газоны,

посадки деревьев). Значимую часть зоны обуславливают элементы, связанные с инфраструктурной деятельностью предприятия, они вносят весомый вклад в трансформацию прилегающих фаций ландшафтной провинции, причем степень изменчивости будет зависеть от площади и конфигурации аномальных ареалов и мощности поступления поллютантов.

Территория Сорьинского хвостохранилища занимает 8 % исследуемой зоны (рис. 2, п. 4). Данное сооружение сконструировано для складирования и дальнейшего сбора сточных поверхностных вод с хвостов обогащения отработанной породы [15] (пиритизированных литостратов) [16, 17] и гранулированного шлака. Особое влияние на трансформацию сопряженных систем оказывают сточные воды, периодически сбрасываемые в реку Айва, в результате обильных потоков токсичных элементов происходит преобразование речной долины. В результате золотой деятельности с окрестных комплексов ландшафтных структур поступают массы токсичных илистых и коллоидных частиц. После осаждения компонентов и дальнейшего их накопления на поверхности под действием осадков происходит смыв и частичное их разрушение в почвенном слое, что ведет к преобразованию химического состава почв.

Весомый вклад в трансформацию ландшафтов приносят техногенные пустыни, образованные преимущественно видоизмененным покровом окрестных территорий в результате интенсивной техногенной деятельности комбината. Под действием постоянной нагрузки газовыблывных выбросов происходит угнетение и исчезновение фитомассы, преобразование почвенного покрова в хемоземы, с формированием техноприродных формаций, отличительной особенностью которых является избыточное перенасыщение влагой, – наличие процессов заболачивания, разрушение структуры почвенного покрова. На долю данных ландшафтных фаций приходится 8 % территории (рис. 2, п. 6).

Отвалы промышленно-техногенных образований занимают около 3 % исследуемой территории (рис. 2, п. 7). Сформированы они в большей степени из техногенно-поверхностных образований шламо- и хвостохранилищ и относятся к токсифабрикатам [18]. Распространены как в непосредственной близости от комбината, так и в районах рудной деятельности (рудники Чернушка и Новолевинский). Описываемые территории относятся к трансаллювиальным ландшафтам. За счет выветривания и массопереноса илистых частиц, дефляции и эрозионных процессов происходит изменение морфологических особенностей подчиненных ландшафтов, что также отражается в исследованиях немецких ученых [19].

По результатам анализа ландшафтной структуры исследуемой территории районы № 4, 5, 6, 7, 11, 13, 14 (рис. 2) относятся к зоне с острой экологической ситуацией (1). Это свидетельствует о высокой антропогенной преобразованности местности. Полученные в ходе расчетов низкие значения коэффициента естественной защищенности $K_{\text{ЭЗ}}=0,44$ говорят о малой стабильности ландшафтов (2).

$$H_i = \frac{10 \cdot 49,8 + 5 \cdot 3,65 + 1 \cdot 1,62 + 44,45}{100} = 5,66$$

– острая экологическая ситуация;

$$K_{\Sigma} = \frac{26,10 + 0,8 \cdot 1,03 + 0,6 \cdot 1,0 + 0,4 \cdot 2,32}{63,86} = 0,44$$

– малостабильный ландшафт.

Процессы трансформации техногенных областей отражаются в коренном изменении морфоструктурных особенностей, преобразовании условий средообитания и, соответственно, трансформации компонентов растительности и почв [20, 21]. Существует высокая опасность загрязнения окрестностей высокотоксичными элементами [22], среди которых мышьяк является одним из наиболее распространенных в медеплавильном производстве [23, 24]. В породах он находится в виде изоморфных примесей. В процессе пирометаллургической переработки сырья происходит возгонка элемента. В дальнейшем с восходящими потоками аэропромвыбросов и зольными частицами он поступает в атмосферу, где переносится воздушными массами на значительные расстояния.

Исходя из сводки метеоданных за 1960–2016 гг. следует, что наиболее часто повторяющиеся ветра долины имеют западное, северо-западное и северное направления. Благодаря их частой периодичности происходит концентрирование веществ, переносимых аэрозольными частицами в районах преобладания циркуляционных потоков [25].

В ходе исследований и анализа почвенного покрова на содержание мышьяка в районе Красноуральского промзла составлен цифровой материал его распределения на различном расстоянии от источника эмиссии.

При сопоставлении компонентного состава ландшафтных структур исследуемой зоны и уровня распределения концентраций мышьяка наблюдается закономерность в морфологическом изменении территории с увеличением содержания элемента в почвенном покрове.

В районах наименьшей стабилизации ландшафтов, относящихся к группе техногенно-образованных (Сорьинское хвостохранилище, район техногенной пу-

стыни, шлако- и шламоотвалы, карьеры и селитебная зона), уровень концентрации мышьяка превышает фоновые значения и ПДК в среднем в 150 раз (рис. 3). В свою очередь в лесных и болотных урочищах, изолированных от прямого воздействия с трансформированными областями, уровень мышьяка не превышает ПДК или же находится в пределах фоновых значений (в среднем 7 мг/кг), за которые принимались отдаленные участки в противоположном направлении преобладающих воздушных масс (точки отбора № 6, 7).

Для более детального рассмотрения процессов техногенной трансформации ландшафтных структур произведена оценка степени радиальной дифференциации мышьяка в почвенном профиле. Полученные значения: >1 – свидетельствуют о закреплении элемента генетическом горизонте и наличии барьеров, <1 – о его подвижности. (Слабоконтрастные барьеры $R=1,3-1,5$; контрастные $R=1,5-3,0$; сильноконтрастные $R>3$) (рис. 5). Исследование процессов влияния техногенных факторов на трансформацию и изменение ландшафтов применяется на практике в районах деятельности горноперерабатывающей отрасли. [26].

В меридиональном направлении в южной и северной трансектах, приуроченных к березово-еловому и сосново-еловому ландшафтам (точка № 10, 17) (рис. 4, а), наблюдается закрепление соединений мышьяка в верхних гумусово-элювиальных горизонтах, с дальнейшей его миграцией к иллювиальным. Данная особенность свидетельствует о наличии сильноконтрастных барьеров в верхней части профиля и отсутствии протекания техногенных геохимических процессов, способствующих закреплению мышьяка к низлежащим горизонтам. Ландшафты данных областей (рис. 2, п. 1, 2) имеют относительно неизменный облик, подтверждающий наличие слабой техногенной активности в исследуемых районах. С приближением к источнику эмиссии (точки № 3, 23, 24, 26) (рис. 4, а) происходит увеличение концентрации мышьяка по всему профилю, что отражается в коэффициенте радиальной дифференциации и свидетельствует об изменении в геохимической структуре основных составляющих компонентов, замещенных соединениями мышьяка.

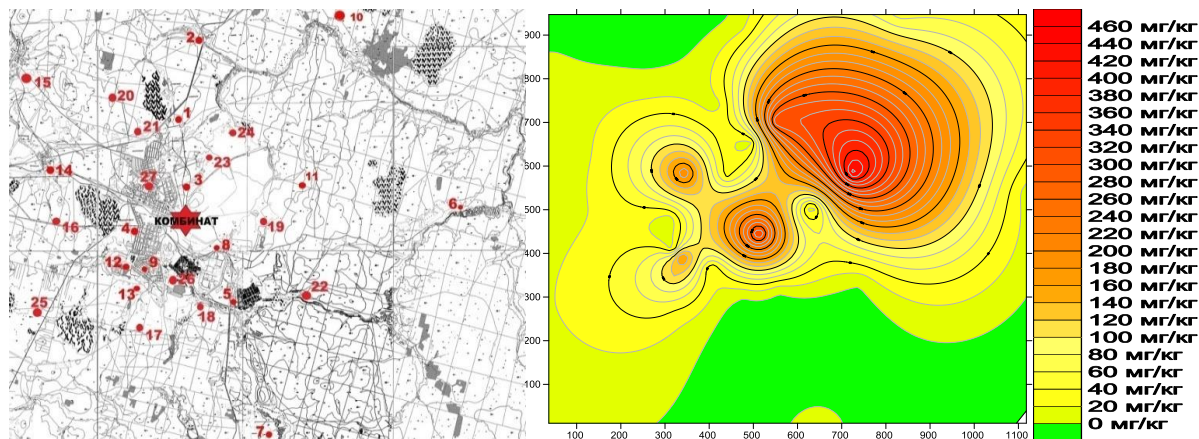


Рис. 3. Точки отбора проб и распределение мышьяка, мг/кг, в районе исследования. Масштаб 1:140000

Fig. 3. Sampling points and distribution of arsenic, mg/kg, in the study area. Scale 1:140000

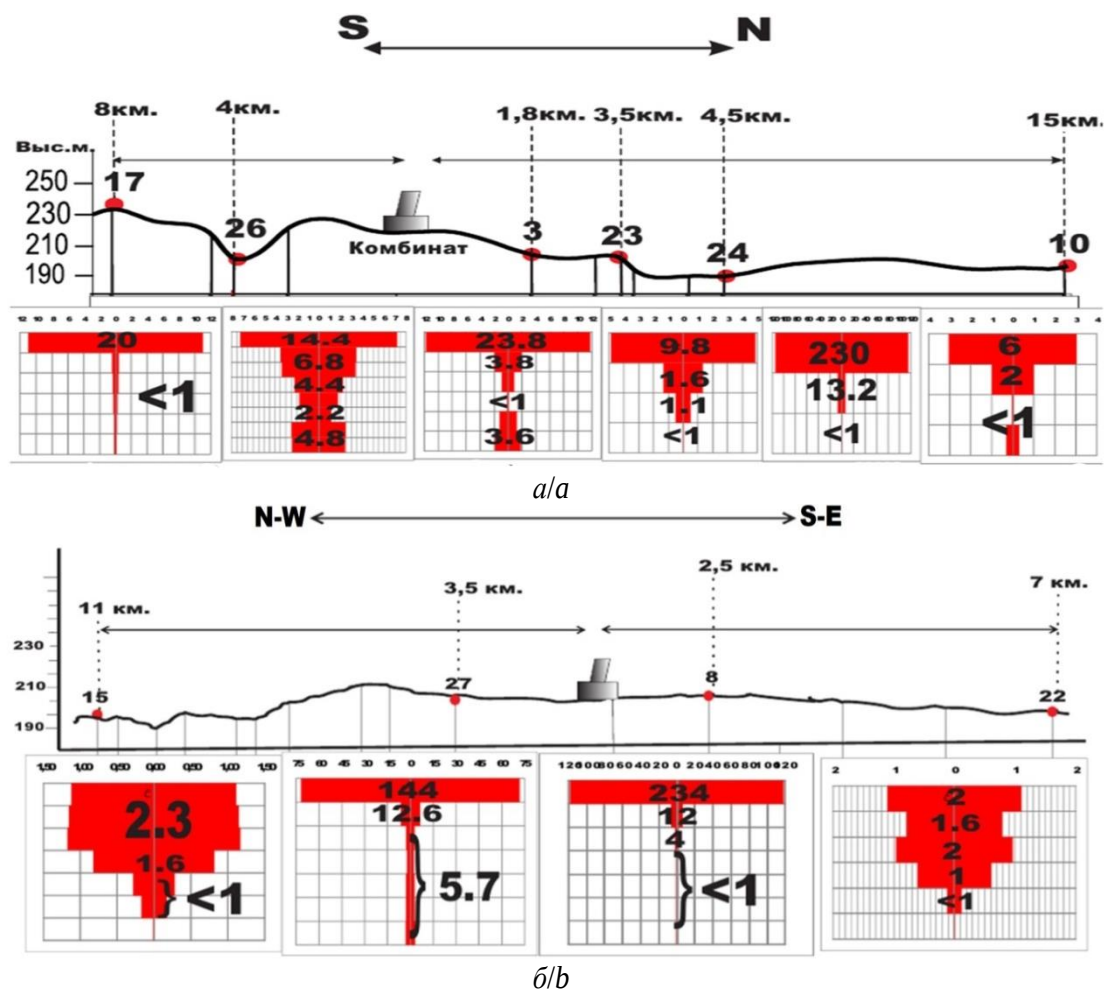


Рис. 4. Коэффициент радиальной дифференциации мышьяка: а) в меридиональном направлении; б) в широтном направлении

Fig. 4. Coefficient of radial differentiation of arsenic in: a) meridional direction; b) latitudinal direction

Происходит активный массоперенос токсичных технофильных элементов в почвенном профиле. Миграционные процессы протекают в результате трансформации ландшафтов, сложенных группой техногенных комплексов (ландшафты техногенных отвалов, деградированные лесные ландшафты и районы техногенной пустыни).

В широтном направлении, северо-западнее факела (точки № 15, 27) (рис. 4, б), ландшафты сложены преимущественно селитебными территориями, с обилием сопряженных лугово-полевых фаций (точка № 15) и парковых зон (точка № 27). В данном районе уровень распределения мышьяка, согласно коэффициенту радиальной дифференциации, распространен по всей толще почвенного профиля.

Несмотря на значительную удаленность от источника эмиссии газопылевых выбросов, территории расположены по направлению преобладающих ветров, способствующих обильному массопереносу на большие расстояния. Данные селитебные районы подвержены как обильным аэротехногенным потокам комбината, так и значительным техногенным факторам индустриальной деятельности внутри поселений. Стабильность таких комплексов сводится к миниму-

му и говорит о высокой их технофильности, что подтверждается высоким содержанием мышьяка и высокой долей его закрепления.

Юго-восточная трансекта подвержена меньшему влиянию аэропромвыбросов, данные ландшафты образованы деградированными лесными фациями (точка № 8) и пастбищно-сенокосными урочищами, сопряженными с селитебными сельскими районами. Сильное видоизменение деградированных районов обуславливается тесной связью с фациями техногенной пустыни, хвостохранилищем и территорией комбината. В большей степени трансформация происходит благодаря дефляции и в результате потоков газопылевых выбросов в атмосферу. Для уменьшения факторов массопереноса частиц с отвалов и хвостохранилищ необходим их учет по модели Эйлера, описанной американскими учеными [27]. Из-за обильных площадей, лишенных растительности, происходит обильный массоперенос токсичных частиц с токсифабрикатов и литостратов на значительные расстояния. В результате прилегающие территории подвергаются видоизменению, что отмечается также в исследованиях испанских ученых на примере рудника Рио-Тинто в Испании [28].

Выводы

1. Исходя из значений оценки экологической напряженности и коэффициента естественной защищенности ландшафтов, территории импактной зоны в районе Красноуральского медеплавильного комбината следует относить к мало стабильным, с острой экологической ситуацией, несмотря на высокую долю ландшафтов, относящихся к низшему классу антропогенной преобразованности, порядка 50 % – лесные угодья. Из общей площади порядка 36 % земель имеют высшую степень нагрузки: техногенные пустыни, карьеры, отвалы, селитебные и промышленные районы. Значительный вклад в трансформацию ландшафтов вносит деятельность медеплавильного комбината ОАО «Святогор».

2. В результате анализа ландшафтов на изменение морфоструктуры исследуемой территории импактной зоны выявлены основные особенности видоизменения районов. Стабильные местности, относящиеся к лесным угодьям с болотными фациями в сопряжении с районами селитебных территорий и нарушенных земель, подвергаются активной трансформации. Основным фактором, способствующим нарушению средостабилизации, являются аэропромвыбросы комбината, распространяющиеся на значительные расстояния от источника эмиссии. Под действием токсичных элементов в зонах трансгрессивно-эллювиальных комплексов происходит подчинение ландшафтов, имеющих более низкую степень антропогенной

нагрузки в сравнении с районами с высокой техногенной активностью. В результате диффузии, водной и ветровой эрозии, транспортировки стоками поверхностных вод токсичных частиц шламо- и шлакоотвалов происходит механическое разрушение почвенного покрова, изменяется оструктуренность, угнетается растительность.

Данные процессы подтверждаются подсчетом коэффициента радиальной дифференциации мышьяка и его распределением по профилю почвы. Районы, подверженные высоким изменениям морфоструктуры ландшафтов, характеризуются наибольшими показателями коэффициента. Отсутствие или незначительное влияние техногенных факторов отражается в уменьшении показателей радиальной дифференциации мышьяка и свидетельствует о способности территорий к самовосстановлению и саморегуляции.

Исходя из вышеизложенного, можно предположить, что дальнейшее развитие экологической ситуации в районах естественных ландшафтов, имеющих довольно высокий уровень наличия технофильных элементов, будет изменяться, с образованием зон, непригодных для землепользования, стабильность которых будет нарушаться и трансформироваться в техногенные районы. При осуществлении методов восстановления нарушенных районов необходимо учитывать комплекс ландшафтных структур и каждую из них в отдельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск: Изд-во Уральского университета, 1999. – 256 с.
2. Степанова Л.П., Коренькова Е.А. Влияние техногенеза на геохимию и экологическую емкость ландшафта. Монография. – Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2010. – 260 с.
3. Удачин В.Н., Вильямсон Б.Д., Рыков С.П. Фазовый состав пылей металлургических предприятий Южного Урала и их поведение в модельных опытах // Минералогия техногенеза. – 2005. – Т. 6. – С. 97–105.
4. Псянчин А.В., Хасанова Г.Ф. Ландшафтно-экологическое районирование природных комплексов среднегорий Южного Урала // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 3. – С. 116–120.
5. Хасанова Г.Ф. Современное состояние и особенности трансформации ландшафтов среднего и юного Урала: дис. ... канд. географ. наук. – Ставрополь, 2018. – 200 с.
6. Яшин И.М., Васенев И.И., Черников В.А. Экогеохимия ландшафта / под ред. И.М. Яшина. – М.: Изд-во Российского Государственного Аграрного Университета – Московская Сельскохозяйственная Академия им. К.А. Тимирязева, 2015. – 305 с.
7. Baath E., Lundgren B., Soderstrom B. Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass // Bull. Environ. Contam. and Toxicol. – 1979. – V. 23. – P. 737–740.
8. Liu Z., Liu Y. Does anthropogenic land use change play a role in changes of precipitation frequency and intensity over the Loess Plateau of China // Remote Sens. – 2018. – V. 10. – № 1818. URL: <https://doi.org/10.3390/rs11131603> (дата обращения 15.01.2020).
9. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А., Селиванова Н.В. Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов. – Владимир: ООО «Владимир Полиграф», 2007. – 170 с.
10. Кочуров Б.И. Экодиагностика и сбалансированное развитие. – Смоленск: Маджента, 2003. – 448 с.
11. Наркисова В.В. Петрохимия позднеордовикских–раннедевонских базальтоидов южной части тагильской зоны среднего Урала: дис. канд. геол.-минерал. наук. – М., 2005. – 167 с.
12. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 235 с.
13. Государственная геологическая карта Российской Федерации третье поколение, уральская серия. Карта плиоцен-четвертичных образований О-41 (Екатеринбург) 1:1000000 / науч. ред. А.В. Жданов. – СПб.: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт, 2009.
14. Impact of metallurgy on the geochemical signature of dusts, soils and sediments in the vicinity of Elbasan complex (Albania) / A. Shtiza, A. Tashko, R. Swennen, A. Brande // Open Geosciences. – 2009. – V. 1 (1). – P. 63–83. URL: <https://doi.org/10.2478/v10085-009-0004-9> (дата обращения 15.01.2020).
15. Бичукина А.И., Парфенова Л.П., Копенкина О.А. Факторы формирования геоэкологических условий территории Сорьинского хвостохранилища // Изв. вузов. Горный журнал. Екатеринбург. – 2008. – № 8. – С. 192–194.
16. Nikonow W., Rammlmair D., Furche M. A multidisciplinary approach considering geochemical reorganization and internal structure of tailings impoundments for metal exploration // Applied Geochemistry – 2019. – V. 104. – P. 51–59. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.014> (дата обращения 15.01.2020).
17. Техногенные поверхностные образования зоны солеевалов и адаптация к ним растений: монография / О.З. Ерёмченко, О.А. Четина, М.Г. Кусакина, И.Е. Шестаков. – Пермь: Изд-во Пермского государственного национально-исследовательского университета, 2013. – 148 с.
18. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах: монография / Г.В. Ковалева, В.Т. Старожил, А.М. Дербенцева, А.В. Назаркина, Л.П. Майорова, Т.И. Матвиенко, В.А. Семаль, Г.Ю. Морозова. – Владивосток: Изд-во «Дальнаука», 2012. – 159 с.
19. The power of Random Forest for the identification and quantification of technogenic substrates in urban soils on the basis of DRIFT spectra / J. Heil, X. Michaelis, B. Marschner, B. Stumpe // Environmental Pollution. – 2017. – V. 230. – P. 574–583. URL:

- <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.086> (дата обращения 15.01.2020).
20. Коркина Е.А., Талынева О.Ю. Антропогенная трансформация природных ландшафтов в зоне техногенеза нефтедобывающей промышленности среднего приобья // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17. – № 5. – С. 1240–1224.
21. Effects of pH, competing ions and aging on arsenic (V) sorption and isotopic exchange in contaminated soils / M.S. Rahman, M.W. Clark, L.H. Yee, M.J. Comarmond, T.E. Payne, E.D. Burton // Applied Geochemistry. – 2019. – V. 105. – P. 114–124. URL: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0149-1> (дата обращения 15.01.2020).
22. Rastegari Mehr M., Keshavarzi B., Sorooshian A. Influence of natural and urban emissions on rainwater chemistry at a southwestern Iran coastal site // Science of the Total Environment. – 2019. – V. 668. – P. 1213–1221. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.082> (дата обращения 15.01.2020).
23. Васильев А.А., Чащин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения: монография. – Пермь: Пермская Государственная Сельскохозяйственная Академия, 2011. – 197 с.
24. Thornton I. Environmental geochemistry: 40 years research at Imperial College, London, United Kingdom // Applied Geochemistry. – 2012. – V. 27. – Iss. 5. – P. 939–953. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.07.015> (дата обращения 15.01.2020).
25. Шабанов М.В., Марицев М.С. Характер изменения кислотно-основных свойств почв в зоне техногенеза (на примере Красноуральского промузла) // Известия Уральского Горного Геологического Университета. – 2018. – Вып. 1 (49). – С. 55–61.
26. Damigos D. An overview of environmental valuation methods for the mining industry // Journal of Cleaner Production. – 2006. – V. 14. – Iss. 3–4. – P. 234–247. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.06.005> (дата обращения 15.01.2020).
27. Modeling the emission, transport and deposition of contaminated dust from a mine tailing site / M. Stovern, E. Betterton, A.E. Saez, F. Villar, O.I. Rine, K.P. Russell, M.R. King // Reviews on Environmental Health. – 2014. – V. 29 (1–2). – P. 91–94. URL: <https://doi.org/10.1515/reveh-2014-0023> (дата обращения 15.01.2020).
28. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps / A. Romero, I. González, J.M. Martín, M.A. Vázquez, P. Ortiz // Environ Geochem Health. – 2015. – V. 37. – P. 273–286. URL: <https://doi.org/10.1007/s10653-014-9645-0> (дата обращения 15.01.2020).

Поступила 29.01.2020 г.

Информация об авторах

Шабанов М.В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им Л.Н. Александровой, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет.

Марицев М.С., аспирант кафедры почвоведения и агрохимии им Л.Н. Александровой, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет.

UDC 504.05: 911.502:631.4

ASSESSMENT OF TRANSFORMATION OF NATURAL-TERRITORIAL COMPLEXES IN MINING TECHNOGENESIS

Mikhail V. Shabanov¹,
geohim.spb@gmail.com

Maxim S. Marichev¹,
m.s.marichev@yandex.ru

¹ St. Petersburg State Agrarian University,
2, Petersburgskoe highway, Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia.

Relevance. Structuring and formation of natural-territorial complexes take place over a long period of time. Over the entire period of transformation and establishment of stable territories, landscapes undergo significant changes. One of the factors of a similar transformation is the technogenic activity of the mining industry, in this relation, the authors evaluated the landscape transformation, studied the processes and schemes of landscape transformation under the influence of technogenesis as one of the main criteria that takes into account the location and expansion of these industries, which determines the relevance of this work.

The aim of the research is to assess environmental stress and altered landscapes subjected to intensive anthropogenic load in the area of the copper-smelting plant activity.

Objects: components of the landscape complex and soil cover in the area of intensive anthropogenic load, located in the vicinity of the city of Krasnouralsk, Sverdlovsk region.

Methods: assessment of ecological tension of the territory; calculation of the coefficient of ecological protection of landscapes by the method of B.I. Kochurov; calculation of the arsenic radial differentiation coefficient in soil cover in the area of intensive anthropogenic load.

Result. The analysis of separate components of landscape complexes is carried out. The characteristics of modification of territories subject to technogenic load are revealed. After calculating the coefficient of environmental stability using the method of B.I. Kochurov, it was revealed that the studied landscapes have an acute environmental situation and low stability. As a proof of anthropogenic load the arsenic concentration in soils of the studied area was measured, that resulted in fixed excess of maximum permissible concentration in modified landscapes. The calculation of the coefficient of radial migration of arsenic in the soil explains the processes of technogenic load.

Key words:

Natural-territorial complexes, mining technogenesis, landscape modification, radial differentiation of arsenic.

REFERENCES

1. Emlin E.F. *Tekhnogenez kolchedannykh mestorozhdeniy Urala* [Technogenesis of pyrite deposits of the Urals-Sverdlovsk]. Sverdlovsk, Ural University Publ., 1999. 256 p.
2. Stepanova L.P., Korenkova E.A. *Vliyanie tekhnogeneza na geokhimiya i ekologicheskuyu emkost landshafta*. Monografiya [Influence of technogenesis on geochemistry and ecological capacity of landscape. Monography]. Orel, Orel State Agrarian University Publ., 2010. 260 p.
3. Udachin V.N., Williamson B.J., Rykov S.P. Phase composition of dust from the metallurgical plant of southern Ural and their behavior in modelling solution. *Mineralogiya tekhnogeneza*, 2005, vol. 6, pp. 97–105.
4. Psyanchin A.V., Khasanova G.F. Landscape and ecological zoning of natural complexes of the middle categories of the southern Urals. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, no. 3, pp. 116–120. In Rus.
5. Khasanova G.F. *Sovremennoe sostoyanie i osobennosti transformatsii landshaftov srednegor'iy Yuzhnogo Urala*. Dis. Kand. nauk [The current state and features of transformation of landscapes of the middle categories of the southern Urals. Cand. Diss.]. Stavropol, 2018. 200 p.
6. Yashin I.M., Vasenev I.I., Chernikov V.A. *Ekogeokhimiya landshafta* [Ecogeochemistry of landscape]. Moscow, Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy Publ., 2015. – 305 p.
7. Baath E., Lundgren B., Soderstrom B. Effects of artificial acid rain on microbial activity and biomass. *Bull. Environ. Contam. and Toxicol.*, 1979, vol. 23, pp. 737–740.
8. Liu Z., Liu Y. Does anthropogenic land use change play a role in changes of precipitation frequency and intensity over the Loess Plateau of China? *Remote Sens.*, 2018, vol. 10, no. 1818. Available at: <https://doi.org/10.3390/rs11131603> (accessed 15 January 2020).
9. Trifonova T.A., Shirkin L.A., Selivanova N.V. *Ekologo-geokhimicheskiy analiz zagryazneniya landshaftov* [Ecological-geochemical analysis of air pollution in landscapes]. Vladimir, Vladimir Poligraf Publ., 2007. 170 p.
10. Kochurov B.I. *Ekodiagnostika i sbalansirovannoe razvitiye* [Ecodiagnosics and balanced development]. Smolensk, Madzhenta Publ., 2003. 448 p.
11. Narkisova V.V. *Petrokhimiya pozdneordovikskikh-rannedevonskikh bazaltoidov yuzhnoy chasti tagil'skoy zony srednego Urala*. Diss. Kand. Nauk [Petrochemistry of late Ordovician – early Devonian basalts of the southern part of the Tagil zone of the middle Urals. Cand. Diss.]. Moscow, 2005. 167 p.
12. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk, Oykumena Publ., 2004. 342 p.
13. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii, uralskaya seriya. Karta pliogen-chetvertichnykh obrazovaniy O-41 (Ekaterinburg) 1:1000000* [The state geological map of the Russian Federation is the third generation, the Ural series. Map of the Pliogene and Quaternary formations O–41 (Ekaterinburg)]. Ed. by A.V. Zhdanov. St. Petersburg, All-Russian research geological Institute named after Karpinsky Publ., 2009.
14. Shtiza A., Tashko A., Swennen R., Brande A. Impact of metallurgy on the geochemical signature of dusts, soils and sediments in the vicinity of Elbasan complex (Albania). *Open Geosciences*, 2009, vol. 1 (1), pp. 63–83. Available at: <https://doi.org/10.2478/v10085-009-0004-9> (accessed 15 January 2020).
15. Bichukina A.I., Parfenova L.P., Kopenkina O.A. Factors of formation of geocological conditions of the territory of the Sor'inskogo tailing dump. *News of universities. Mining journal*, 2008, no. 8, pp. 192–194. In Rus.
16. Nikonov W., Rammlmair D., Furche M. A multidisciplinary approach considering geochemical reorganization and internal structure of tailings impoundments for metal exploration. *Applied*

- Geochemistry*, 2019, vol. 104, pp. 51–59. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.03.014> (accessed 15 January 2020).
17. Eremchenko O.Z., Chechina O.A., Kusakina M.G., Shestakov I.E. *Tekhnogennyye poverkhnostnyye obrazovaniya zony soleotvalov i adaptatsiya k nim rasteniy*. Monografiya [Technogenic surface formations of the zone of salt dumps and adaptation of plants to them. Monography]. Perm, Perm state national research University, 2013. 148 p.
 18. Kovaleva G.V., Starozhilov V.T., Derbencheva A.M., Nazarkina A.V., Maiorova L.P., Matvienko T.I., Semal V.A., Morozova G.U. *Pochvy i tekhnogennyye poverkhnostnyye obrazovaniya v gorodskikh landshaftakh*. Monografiya [Soils and technogenic surface formations in urban landscapes. Monography]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2012. 159 p.
 19. Heil J., Michaelis X., Marschner B., Stumpe B. The power of Random Forest for the identification and quantification of technogenic substrates in urban soils on the basis of DRIFT spectra. *Environmental Pollution*, 2017, vol. 230, pp. 574–583. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.086> (accessed 15 January 2020).
 20. Korkina E.A., Talyneva O.Yu. Anthropogenic transformation of natural landscapes in the zone of oil-producing industry of middle Ob. *Izvestiya of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*, 2015, vol. 17, no. 5, pp. 1240–1224. In Rus.
 21. Rahman M.S., Clark M.W., Yee L.H., Comarmond M.J., Payne T.E., Burton E.D. Effects of pH, competing ions and aging on arsenic (V) sorption and isotopic exchange in contaminated soils. *Applied Geochemistry*, 2019, vol. 105, pp. 114–124. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10653-018-0149-1> (accessed 15 January 2020).
 22. Rastegari Mehr M., Keshavarzi B., Sorooshian A. Influence of natural and urban emissions on rainwater chemistry at a southwestern Iran coastal site. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 668, pp. 1213–1221. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.082> (accessed 15 January 2020).
 23. Vasilev A.A., Chashchin A.N. *Tyazhelye metally v pochvakh goroda Chusovogo: otsenka i diagnostika zagryazneniya*. Monografiya [Heavy metals in the soils of the city of Chusovoy: assessment and diagnosis of pollution. Monography]. Perm, Perm State Agricultural Academy Publ., 2011. 197 p.
 24. Thornton I. Environmental geochemistry: 40 years research at Imperial College, London, UK. *Applied Geochemistry*, 2012, vol. 27, Iss. 5, pp. 939–953. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.07.015> (accessed 15 January 2020).
 25. Shabanov M.V., Marichev M.S. The nature of the change of acid-base properties of soils in the zone of technogenesis (on the example of Krasnoural'skiy promote). *NEWS of the Ural State Mining University*, 2018, vol. 1 (49), pp. 55–61. In Rus. Available at: <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2018-1-55-61> (accessed 15 January 2020).
 26. Damigos D. An overview of environmental valuation methods for the mining industry. *Journal of Cleaner Production*, 2006, vol. 14, Iss. 3–4, pp. 234–247. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.06.005> (accessed 15 January 2020).
 27. Stover M., Betterton E., Saez A.E., Villar F., Rine O.I., Russell K.P., King M.R. Modeling the emission, transport and deposition of contaminated dust from a mine tailing site. *Reviews on Environmental Health*, 2014, vol. 29 (1–2), pp. 91–94. Available at: <https://doi.org/10.1515/reveh-2014-0023> (accessed 15 January 2020).
 28. Romero A., González I., Martín J.M. Vázquez M.A., Ortiz P. Risk assessment of particle dispersion and trace element contamination from mine-waste dumps. *Environ Geochem Health*, 2015, vol. 37, pp. 273–286. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10653-014-9645-0> (accessed 15 January 2020).

Received: 29 January 2020.

Information about the authors

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

Maxim S. Marichev, postgraduate student, St. Petersburg State Agrarian University, 2, Petersburgskoe highway.