

© В.Г. ЛИННИК, В.Ю. ХОРОШАВИН, О.А. ПОЛОГРУДОВА

vlinnik_53@mail.ru, purriver@mail.ru, lab@utmn.ru

УДК:538.214 : 551.43

**ДЕГРАДАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ
И ХИМИЧЕСКОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ
КАРАБАШСКОГО МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО КОМБИНАТА***

АННОТАЦИЯ. Результаты исследования деградации природных ландшафтов территории, расположенной в зоне прямого воздействия выбросов Карабашского медеплавильного комбината указывают на очень острую экологическую ситуацию, сложившуюся в окрестностях г. Карабаш Челябинской области. Медеплавильный комбинат — один из лидеров российской цветной металлургии по объемам производства, оказывающий воздействие на окружающую среду региона уже более 100 лет. Отражено зонирование территории влияния комбината по степени техногенной трансформации ландшафтов. На подветренном склоне горы Золотая, находящейся к востоку от комбината изучены ландшафтно-геохимические особенности, определяющие условия аккумуляции и миграции соединений тяжелых металлов, исследовано содержание тяжелых металлов в поверхностном слое элювиально-делювиальных и пролювиальных отложений. Особенности горной местности вызвали необходимость адаптации стандартного метода исследований миграции и накопления тяжелых металлов. Так, при отборе проб почвы выбирался участок размером не меньше чем 50x50 см, на котором, используя штыковую лопату, производился отбор пробы с поверхностного слоя на глубину до 5 см. Химический анализ проб показал, что содержание Cu, Zn превышает допустимый уровень в 36-40 раз, Pb в 166 раз.

SUMMARY. Study results of the natural landscapes degradation of territory, located in the zone of direct influence of the copper-smelting industrial complex of Karabash Town in Chelyabinsk Region reveal a very complicated ecological situation. The copper-smelting industrial complex in Town Karabash is the leader of Russian non-ferrous metallurgy. It has had an impact on the state of the region's environment over 100 years.

The study focuses on zoning of the territory of influence of the enterprise according to the degree of anthropogenic transformation of landscapes. On the leeward slopes of the mountain Zolotaja, which is situated to the east of the plant, landscape-geochemical peculiarities have been studied, which determine the conditions of accumulation and migration of compounds of heavy metals, the content of heavy metals in the surface layer eluvial, deluvial and alluvial sediments. Spatial character of the mountainous countryside has caused the need for adaptation of the standard methods of research of migration and accumulation of heavy metals. In the sampling of soil a land area was chosen up to 50x50 cm. Using a shovel, samples were selected from the surface layer up to 5 cm deep. The chemical analysis of the samples showed that the contents of Cu, Zn exceeds the allowable level by 36-40 times, Pb by 166 times.

* Работа выполнена при поддержке гранта по постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №220, договор № 11G34.31.0036 от 25.11.2010 г. а также финансовой поддержке РФФИ (грант 12-05-10074-к).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Тяжелые металлы, техногенное загрязнение, миграция тяжелых металлов, Южный Урал, город Карабаш.

KEY WORDS. Heavy metals, technogenic contamination, migration of heavy metals, South Ural, Karabash Town.

Деградация природных ландшафтов, вызванная техногенным воздействием, в ряде районов России представляет серьезную экологическую проблему. К числу предприятий, которые наносят максимальный урон окружающей среде, относятся медеплавильные комбинаты, среди которых Печенганикель, Североникель, а также расположенный на Южном Урале комбинат Карабашмедь [1-3].

Масштабы и характер загрязнения окружающей среды медеплавильными комбинатами связаны с видом производства (технологией выплавки меди, составом и объемом выбросов), атмосферными условиями рассеяния аэротехногенных примесей, ландшафтно-геохимическими условиями трансформации и миграции загрязняющих веществ.

За период времени активной работы Карабашского медеплавильного комбината (КМК) начиная с 1910 г. на окружающей территории площадью 30 км² сформировались две природно-техногенные зоны: техногенного бедленда (ТБ) и толерантного состояния растительности [4]. Индикатор зоны толерантного состояния растительности — это мертвопокровный березняк. Зона ТБ включает территорию самого КМК, а также горную гряду Карабаша с прилегающими низкорослыми участками. На этой территории полностью отсутствует растительный покров, почвенный покров также практически отсутствует вследствие интенсивного развития эрозионных процессов. В июле 2012 г. проводились работы по изучению современной геоэкологической обстановки в окрестностях г. Карабаш. В настоящей работе представлены результаты предварительной оценки техногенного загрязнения в результате выбросов КМК западного склона Золотой Горы, расположенной в пределах санитарно-защитной зоны.

Карабашский горный массив расположен в зоне сочленения структур Среднего и Южного Урала (в северном замыкании Магнитогорской мегазоны), образующих насыщенный ультрабазитами «зеленокаменный пояс». Данная территория формирует Карабашский рудный район. Сам массив имеет вытянутую линзовидную форму, протягиваясь в меридиональном направлении на 6-7 км, расширяясь на широте г. Карабаш до 1,5 км [5]. Горные породы массива представлены преимущественно антигоритовыми серпентинитами. На восточном склоне Золотой горы встречаются многочисленные блоки вмещающих пород, в юго-восточной части массива — тела лиственитов.

Ландшафтные условия. Окрестности г. Карабаш относятся к Южноуральской горной ландшафтной провинции с преобладанием серых и темно-серых лесных почв, первичная растительность представлена сосново-березовыми лесами. Развитие медеплавильного производства коренным образом изменило ландшафтный облик территории. Вследствие вредных выбросов в атмосферу значительная часть территории превратилась в безлесную зону. Особенно активно деградация растительности происходила в 50-80 гг. XX века. После остановки медеплавильного производства в 1989 г. на западном склоне Золотой горы стал появляться березовый молодняк.

Повторный пуск КМК в 1998 г. вызвал резкое повышение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, что привело к новой стадии угнетения раститель-

ности. В последующие годы в результате реализации на КМК проекта по утилизации отходящих газов медеплавильного производства наметилась тенденция к восстановлению растительного покрова [2].

Условия переноса загрязняющих веществ в атмосфере. КМК расположен в Саймоновской долине, вытянутой в меридиональном направлении и окруженной со всех сторон невысокими вершинами. Так как трубы КМК высотой до 125 м расположены на отметке 375-380 м и максимальная отметка Золотой горы достигает 611,9 м, то уровень дымового шлейфа при его горизонтальном распределении располагается на высотах 500-510 м. Условия замкнутой котловины способствуют также проявлению инверсии, что неблагоприятно сказывается на санитарно-гигиенической обстановке в г.Карабаш и его окрестностях [3-4]. В результате разница в содержании серы на удалении 1 и 3 км от КМК несущественна.

Согласно многолетним климатическим данным на территории КМК наблюдается следующее распределение атмосферного переноса: 28% — это вынос в восточном направлении, 17% — северо-восточном, 15% — северном, 5% — северо-западном, 15% — юго-восточном, 9% — южном, 7% — юго-западном, 4% — западном [6]. Таким образом, на сектор, который образует массив г. Золотая, расположенный к востоку от комбината, приходится 60% повторяемости направления ветра (рис. 1).

Исходя из орографических особенностей данной территории, западный (наветренный) склон горы Золотая является классическим орографическим геохимическим барьером, который по классификации А.И. Перельмана [7] относится к механическим барьерам. В результате этого основное техногенное воздействие приходится на массив Золотой Горы.

Принципы размещения точек отбора проб. Выбор точек отбора проб выполнялся исходя из ландшафтных особенностей территории. Использование традиционных методов эколого-геохимического мониторинга, когда для отбора проб закладывается пробная площадка размером 10x10 м или 20x20 м с последующим отбором проб методом «конверта», в данной ситуации оказался неприемлем. Основное требование при отборе проб для оценки техногенного загрязнения заключается в том, чтобы пробная площадь была однородной (или квазиоднородной) по интенсивности загрязнения.

Однако специфика ландшафтных условий потребовала внесения существенных корректив в методику отбора проб. Склоновая поверхность г. Золотой перекрыта элювиально-делювиальными каменистыми отложениями.

Расположенные на поверхности камни покрыты темным налетом, благодаря постоянному воздействию серной кислоты формируется своего рода «химический загар». Поскольку осаждение загрязняющих веществ происходит на каменистую поверхность, для оценки состава оседающей на поверхность техногенной пыли применяются специальные методы, такие как отбор пыли на липкие стекла, закрепляемые на выходах коренных пород [6].

Так как поступающая на каменистую поверхность техногенная пыль, скорее всего, не задерживается, а смывается с поступающими атмосферными осадками и оседает между камнями или даже под камнями, то оценить надежно плотность выпадений, как это осуществляется при снегомерной съемке, не представлялось возможным. Оголенные поверхности между отдельными глыбами

камней, где можно было бы произвести отбор минеральной части почвы, составляли миллиметры или несколько сантиметров, что делало невозможным выполнение отбора проб традиционными методами, например, используя пробоотборник, где размер почвенного керна достигает в диаметре 6-10 см.



Рис. 1. Район проведения работ (навстренный склон Золотой горы, г. Карабаш).
Условные обозначения: *1 — номер пикета; А, В, С, D — противоэрозионные дамбы

Поэтому потребовалась модификация методики обследования с учетом специфики конкретных ландшафтных условий. Было предложено за основу взять методику, применяемую в организациях Гидрометслужбы при мониторинге выпадения атмосферной пыли. Для этого, например в НПО «Тайфун» (г. Обнинск, Калужская область) для анализа радиоактивных выпадений используется горизонтальный марлевый планшет площадью 0,3 м². При отборе проб почвы выбирался участок размером не меньше 50х50 см, на котором производился отбор пробы с поверхностного слоя на глубину до 5 см.

Методика проведения химических анализов. Определение тяжелых металлов в пробах почвы проводилось в соответствии с методикой ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02 [8]. Навеску почвы массой 0,1-0,5 г (в зависимости от предполагаемого содержания определяемых элементов) помещали в фарфоровый тигель и прокаливали в муфельной печи при $T = (400-450)^{\circ}\text{C}$ в течение двух часов. Разложение фтористоводородной кислотой применяли при анализе проб с большим содержанием кремнекислоты. Остаток после прокаливания, помещенный в чашку из стеклоглелера (или в платиновую чашку), обрабатывали 10-20 см³ фтористоводородной кислотой ($\rho = 1,19$) и нагревали до разложения силикатной части и затем до влажных солей. Затем еще раз добавляли 5,0 см³ хлористоводородной кислоты чтобы перевести все соли в хлориды и выпаривали досуха. К остатку приливали 20,0 см³ 0,5 М хлористоводородной кислоты и нагревали до растворения остатка. Раствор переносили в мерную колбу вместимостью 50 см³ и доливали до метки 0,5 М HCl.

Количественное определение тяжелых металлов проводили методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с использованием воздушно-ацетиленового пламени.

Результаты и их обсуждение. Выполненные в начале 80-х гг. прошлого века комплексные исследования по изучению негативного воздействия промышленных выбросов КМК выявили критическое состояние природных ландшафтов. Согласно опубликованным данным [1] объемы поступления пыли в окружающую среду в 1970 г. составляли 28,8 тыс. т, SO_2 — 364,5 тыс. т. В начале 90-х в связи с решением о перепрофилировании производства на переработку вторичных цветных металлов выбросы пыли и SO_2 снизились соответственно до значений 0,2 тыс. т и 0,62 тыс. т в 1994 году.

Прямые измерения SO_2 в октябре 2000 г. [9] показали высокие уровни концентрации — до 20000 мг/м³ непосредственно в подфакельной зоне на удалении 1 км от завода. Однако концентрация SO_2 в воздухе г. Карабаш не остается постоянной и резко меняется в связи с непостоянством скорости и направления ветра.

Принимая в расчет, что площадь техногенного бедленда за время активной работы комбината составила 30 км² [4] и вся пыль осаждалась в пределах этой территории, можно рассчитать суточное поступление пыли. В 70-е гг. расчетная пылевая нагрузка в окрестностях г. Карабаш могла достигать 2,6 т/км²×сутки.

По результатам опробования снежного покрова в начале 2000-х [3] фоновое поступление атмосферной пыли для Южного Урала составляло 10-15 кг/км²×сут. Эти данные совпадают с аналогичными значениями, полученными при экогеохимической съемке снежного покрова для территории Московской области в начале 80-х — 10 кг/км²×сутки [10]. В 1994 г. расчетная пылевая нагрузка в Карабаше могла достигать 18 кг/км²×сут, что немного превышает фоновый уровень выпадений для Южного Урала и Московской области.

Химический анализ пылевых выпадений в районе Карабаша показал, что аэрозоли фоновых территорий состоят из силикатов, алюмосиликатов и оксидов. Тогда как техногенные частицы представлены цинкитом (ZnO), англезитом (PbSO_4) пиритом (FeS_2), Cu-Zn-шпинелью ($(\text{Mg}, \text{Fe}_2, \text{Cu}, \text{Zn})\text{O}_4$), галенитом (PbS), сфалеритом (ZnS), халькопиритом (CuFeS_2) [11].

Современная геоэкологическая обстановка. Согласно историческим данным в начале XX в. западные склоны Золотой горы были покрыты лесом, в отдельных местах наблюдались открытые поляны, где местные жители собирали ягоды. Остатки пней сосны, выявленные в процессе исследований, проведенных в начале 80-х гг., доказывают, что в прошлом на Золотой горе рос сосновый лес [1].

По мере увеличения техногенной нагрузки при работе КМК в начале 40-х годов прошлого века на склонах Золотой горы были вырублены леса, затем началась деградация почвенного покрова. В условиях поступления диоксида серы сверх допустимых уровней, развитие луговой растительности на месте сведенных лесов не наблюдалось, также как и естественное возобновление лесной растительности.

Характерной особенностью западного склона Золотой горы является интенсивное развитие эрозионных процессов, которое нашло отражение в формировании густой эрозионной сети. Таким образом, эрозионные процессы являются

существенным механизмом перераспределения тяжелых металлов, поступивших в результате выбросов КМК на склоны Золотой горы.

В настоящее время развитие эрозионных процессов на склоне Золотой горы приобрело катастрофический характер, что приводит к постоянной угрозе размыва шоссейной дороги в период весеннего снеготаяния. Благодаря отсутствию растительного и почвенного покрова талые воды быстро наполняют овраги и устремляются вниз по уклону в направлении р. Сак-Элги, на пути к которой ныне находится шоссейная дорога. На рис. 1 хорошо видны последствия эрозионных процессов, а также результаты противоэрозионных мероприятий, проводимых администрацией г. Карабаш. Это создание последовательно расположенных противоэрозионных гряд в количестве 3-4 перед самой дорогой. В результате предпринимаемых противоэрозионных мер в нижней части склона на кратковременный период образуются целые озера талой воды, которые концентрируют смываемые ТМ со склона Золотой горы.

Химическое выветривание. Растворяясь в капельках дождя, сернистый газ образует растворы серной кислоты. Попадая на землю, серная кислота подкисляет почвы, губительно действуя на растения и животных. На рис. 2. представлен пример химического выветривания горных пород в результате выпадения серной кислоты.



Рис. 2. Химическое выветривание делювиальных отложений на западном склоне г. Золотая

Следы выпадения серной кислоты с незначительным убыванием степени химического выветривания по мере удаления от КМК наблюдались на всех точках ландшафтного описания.

Диоксид серы разъедает поверхность камня, при этом образуются микрокаверны глубиной до 1-2 см, в ряде случаев наблюдалось сплошное разъедание обломков горной породы на всю глубину до 10-15 см.

Распределение химических элементов. Точки отбора проб на западном склоне Золотой горы находятся на абсолютной высоте от 350 до 391 м, что ниже высоты выброса из труб КМК. Известно, что для предприятий с высокими трубами максимум выпадения загрязняющих веществ наблюдается существенно дальше от источника промышленных выбросов. Рядом с комбинатом, в подфакельной зоне, интенсивность осаждения загрязняющих веществ не самая высокая. Однако в связи с орографическими особенностями в окрестности КМК данная закономерность нарушается, что явилось отдельным предметом исследования.

Размещение точек отбора проб (табл. 1) выполнялось из следующих соображений. Пикет 1 и пикет 2 образуют пару, которая расположена на одном удалении от источника выбросов. Пикет 1 расположен в центральной части днища эрозионной формы, сложенной пролювиальными отложениями, тогда как пикет 2 — расположен рядом на борту эрозионной формы, сложенной делювием коренных пород. Пикет 1 характеризует транзитные условия накопления ТМ, поступивших как за счет выпадений из атмосферы, так и за счет выноса эрозионного материала из верхней части эрозионной сети. Пикет 2 служит контролем для пикета 1, поскольку он контролирует участок склона с несущественной латеральной миграцией.

Пикет 3 расположен на плоском участке выпуклого склона на высоте 371 м без признаков латеральной миграции, сама проба отбиралась из локального понижения размером 3х3 м и глубиной 5-10 см. Пикет 4 расположен на максимальном удалении от источника выброса на высоте 391 м в зоне разгрузки локального водосбора на склоне площадью ~ 500 м², куда поступает материал по 6-7 неглубоким (до 10-15 см) эрозионным промоинам.

Таблица 1

Распределение химических элементов (мг/кг) в поверхностных отложениях горы Золотой (г. Карабаш)

| Номер пикета | Н (м) | Cu | Cd | Zn | Pb | Ni | Mn | Cr |
|--------------|-------|------|------|------|------|------|-------|-----|
| 1 | 350 м | 482 | 4,3 | 1189 | 304 | 40 | 474 | 190 |
| 2 | 352 м | 537 | 7,6 | 1014 | 770 | 39 | 391 | 171 |
| 3 | 371 м | 2263 | 13,5 | 3593 | 4977 | 46,5 | 464,5 | 256 |
| 4 | 391 м | 787 | 7,5 | 1535 | 1209 | 49,7 | 598 | 178 |
| ПДК | | 55 | 2,0 | 100 | 30 | 85 | 1500 | 100 |

Максимальный уровень загрязнения Cu Золотой горы (пикет 3, 2263 мг/кг) близок к уровню загрязнения почвы в окрестности медеплавильного комбината Нкана (Замбия), где загрязнение достигает 2200 мг/кг [12]. По всем остальным

ТМ на пикете № 3 наблюдается максимальная концентрация, что подтверждает корректность выбора данной точки как эталона для оценки воздушного поступления ТМ. Для пикета 1 характерно самое низкое содержание всех ТМ (кроме Ni, Mn, Cr), поскольку это транзитная зона химического выноса вещества. Максимальное загрязнение ТМ превышает допустимые уровни для Cu, Zn, Pb соответственно в 41, 35,9, 166 раз.

Для оз. Серебры, расположенного на удалении до 5 км от КМК [13], концентрация Cu, Zn превосходит максимальные уровни загрязнения на Золотой горе соответственно в 2,3, 1,3 раза, тогда как для Pb наблюдается обратная картина — в 4,5 раза «грязнее» участок склона Золотой горы. Более низкие значения ТМ на склоне Золотой горы обусловлены, по всей видимости, преобладанием выноса над накоплением.

Заключение. Проведенные исследования на западном склоне Золотой горы позволили определить степень техногенной деградации на площади аэротехногенной аномалии. Установлена зона проявления процессов химического выветривания элювиально-делювиальных пород в результате осаждения диоксида серы, которая проявляется в появлении микрокаверн на поверхности обломков пород. Загрязнение Cu, Zn превосходит допустимый уровень в сотни раз, Pb, Cr — в десятки раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черненко Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загрязнение. М.: Наука, 2002. 191 с.
2. Калабин Г.В., Моисеенко Т.И. Экодинамика техногенных провинций горнопромышленных производств: от деградации к восстановлению // Доклады Академии наук. Т.437. 2011. № 3. С. 398-403.
3. Удачин В.Н. Экогеохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала: Автореф. дисс. ... д-ра геогр.. Томск, 2012. 48 с.
4. Макунина Г.С. Деградация и химические свойства почв Карабашской техногенной аномалии // Почвоведение. 2002. № 3. С. 368-376.
5. Рыкус М.В., Бажин Е.А., Савельев Д.Е., Сначев В.И. Геология и геохимические особенности ультрабазитов и габброидов зоны сочленения Южного и Среднего Урала (Кыштымская площадь) // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7. № 1. С. 72-80.
6. Макунина Г.С. Геоэкологические особенности Карабашской техногенной аномалии // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2001. №3. С. 221-226.
7. Перельман А.И. Геохимия: учеб. пособие для геолог. спец. ун-тов. М.: Высшая школа, 1979. 423 с.
8. ПНД Ф 16.1:2.2:2.3:3.36-02. Методика выполнения измерений валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля, марганца, кобальта и хрома в почвах, донных отложениях и осадках сточных вод и отходах методом пламенной атомно-абсорбционной спектроскопии.
9. Udachin, V.N., Williamson, B.J., Purvis, O.W., Spiro, B., Dubbin, W., Herrington, R.J., Mikhailova, I. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia // Sust. Devel. 2003. V. 11. P. 1-10.
10. Линник В.Г., Сагит Ю.Е., Смирнова Р.С. Оперативное картографирование геохимических полей для мониторинга // Моделирование процессов экологического развития. Вып. 13. 1986. С. 71-77.

11. Удачин В.Н., Джейджи М., Аминов П.Г., Лонцакова Г.Ф., Филиппова К.А., Дерягин В.В., Удачина Л.Г. Химический состав атмосферных осадков Южного Урала // Естественные и технические науки. 2010. № 6. С. 304-311.
12. Ettler, V., Mihaljevič, M., Kříbek, B., Majer, V., Šebek, O. Tracing the spatial distribution and mobility of metal/metalloid contaminants in Oxisols in the vicinity of the Nkana copper smelter, Copperbelt province, Zambia // *Geoderma* 164 (2011) 73-84.
13. Удачин В.Н., Дерягин В.В., Китагава Р., Аминов П.Г. Изотопная геохимия донных отложений озер Южного Урала для оценки масштабов горнопромышленного техногенеза // Вестник Тюменского государственного университета. 2009. № 3. С. 144-149.

REFERENCES

1. Chernen'kova, T.V. *Reakcija lesnoj rastitel'nosti na promyshlennoe zagryaznenie* [Reaction of silva to industrial pollution]. Moscow: Nauka, 2002. 191 p. (in Russian).
2. Kalabin, G.V., Moiseenko, T.I. Ecodynamics of technogenic provinces of mining production: from degradation to reconstruction. *Doklady Akademii nauk — Reports of the Academy of Sciences*. Vol. 437. 2011. No. 3. Pp. 398-403 (in Russian).
3. Udachin, V.N. *Jekogehimija gornopromyshlennogo tehnogeneza Juzhnogo Urala* (Avtoref. diss. dokt.) [Ecogeochemistry of mining technogenesis in the Southern Urals (Doct. diss. abstract)]. Tomsk, 2012. 48 p. (in Russian).
4. Makunina, G.S. Degradation and chemical properties of soils in Karabash technogenic anomaly. *Pochvovedenie — Pedology*. 2002. No. 3. Pp. 368-376 (in Russian).
5. Rykus, M.V., Bazhin, E.A., Savel'ev, D.E., Snachev, V.I. Geology and geochemical properties of ultrabasites and gabbroids in the suture zone of the Southern and Middle Urals (Kyshtym area). *Neftegazovoe delo — Oil and Gas Engineering*. Vol. 7. 2009. No. 1. Pp. 72-80 (in Russian).
6. Makunina, G.S. Geoenvironmental characteristics of Karabash technogenic anomaly. *Geojekologija, inzhenernaja geologija, gidrogeologija, geokriologija — Geoecology, geological engineering, geohydrology, geocryology*. 2001. No. 3. Pp. 221-226 (in Russian).
7. Perel'man, A.I. *Geohimija* [Geochemistry]. Moscow: Vyshaya Shkola, 1979. 423 p. (in Russian).
8. PND F 16.1:2.2:2.3:3.36-02. *Metodika vypolnenija izmerenij valovogo sodержanija medi, kadmija, cinka, svinca, nikelja, marganca, kobal'ta i hroma v pochvah, donnyh otlozhenijah i osadkah stochnyh vod i othodah metodom plammennoj atomno-absorbcionnoj spektrometrii* [Conservation normative document (Russia) 16.1:2.2:2.3:3.36-02. Methods of estimation of gross concentration of Cu, Cd, Zn, Pb, Ni, Mn, Co, Cr in soils, bottom deposits, sewage sludge and waste by means of flame atomic absorption spectrometry] (in Russian).
9. Udachin, V.N., Williamson, B.J., Purvis, O.W., Spiro, B., Dubbin, W., Herrington, R.J., Mikhailova, I. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia. *Sust. Devel.* 2003. V. 11. P. 1-10.
10. Linnik, V.G., Saet, Ju.E., Smirnova, R.S. Operational mapping of geochemical fields for monitoring. *Modelirovanie processov jekologičeskogo razvitija — Environmental development process modelling*. Issue 13. Moscow: All-union Institute for Systems Research. 1986. Pp. 71-77 (in Russian).
11. Udachin, V.N., Dzhedzhi, M., Aminov, P.G., Lonshhakova, G.F., Filippova, K.A., Derjagin, V.V., Udachina, L.G. Chemical composition of precipitation in the Southern Urals. *Estestvennye i tehničeskie nauki — Natural and technical sciences*. 2010. No. 6. Pp. 304-311 (in Russian).

12. Ettler, V., Mihaljevič, M., Kříbek, B., Majer, V., Šebek, O. Tracing the spatial distribution and mobility of metal/metalloid contaminants in Oxisols in the vicinity of the Nkana copper smelter, Copperbelt province, Zambia. *Geoderma*. 164 (2011) 73-84.

13. Udachin, V.N., Derjagin, V.V., Kitagava, R., Aminov, P.G. Isotopic geochemistry of lake bottom sediments in the Southern Urals for estimation of mining technogenesis scale. *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta — Tyumen State University Herald*. 2009. № 3. P. 144-149 (in Russian).