



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТОВ ПРИ ДОБЫЧЕ РОССЫПНОГО ЗОЛОТА НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ЗААМАР В ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

GEOCHEMICAL CHANGES OF LANDSCAPES DUE TO PLACER GOLD MINING AT THE ZAAMAR GOLDFIELD IN THE CENTRAL MONGOLIA

АЛЕКСЕЕНКО А.В.

Аспирант кафедры геоэкологии горного факультета Национального минерально-сырьевого университета «Горный», г. Санкт-Петербург, AleksAV@spmi.ru

КАСИМОВ Н.С.

Заведующий кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв и декан географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.н., профессор, академик РАН, г. Москва, secretary@geogr.msu.ru

КОШЕЛЕВА Н.Е.

Ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.н., г. Москва, natala@mail.ru

ALEKSEENKO A.V.

Postgraduate student of the geoecology department of the mining faculty of National Mineral Resources University (University of Mines), Saint-Petersburg, AleksAV@spmi.ru

KASIMOV N.S.

Head of the department of landscape geochemistry and soil geography and dean of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geography), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow, secretary@geogr.msu.ru

KOSHELEVA N.E.

Leading research scientist of the department of landscape geochemistry and soil geography of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geography), Moscow, natala@mail.ru

Ключевые слова:

разработка россыпного золота; ландшафтно-функциональное зонирование; загрязнение; тяжелые металлы и металлоиды; почвы; донные отложения; взвешенные наносы; р. Туул; функциональное использование территории; свойства почв.

Key words:

placer gold mining; landscape and land-use zoning; pollution; heavy metals and metalloids; soils; bottom sediments; suspended sediments; Tuul river; land use; soil properties.

Аннотация

Рассмотрена геохимическая трансформация ландшафтов долины р. Туул в районе золотого прииска Заамар в Центральной Монголии. Проведено ландшафтно-функциональное зонирование территории. Уровни аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в почвах и техногенных поверхностных образованиях сопоставлены с фоновыми. Изучены изменения химического состава донных отложений и взвешенных наносов на 25-километровом участке реки и в запрудах. Основными факторами, определяющими геохимическую неоднородность территории исследования, являются свойства почв и функциональное использование земель (для As, Co, Cu, Mo, W), содержание MnO (As, W) и органического углерода (Mo, W), геохимическая позиция (Co).

Введение

В настоящее время добыча полезных ископаемых является одним из наиболее динамично развивающихся секторов экономики Монголии. Освоение месторождений золота относится к наиболее деструктивно влияющим на окружающую среду видам хозяйственной деятельности. Это определяет актуальность геохимических исследований техногенной трансформации и оценки загрязнения ландшафтов в районах золотых приисков с обоснованием мероприятий по улучшению экологической обстановки на этих территориях. В бассейне р. Селенги эти вопросы детально изучены на золотой россыпи Ероо: определено загрязнение речной экосистемы [22, 28, 29], рассмотрено влияние добычи на состояние краснокнижных видов наземных растений и животных [26], описаны первые опыты по рекультивации техногенно нарушенных земель [20].

Объектом данного исследования является территория месторождения россыпного золота Заамар в нижнем течении р. Туул — правого притока р. Орхон, впадающего в Селенгу. Предшествующие работы в этом районе были направлены в основном на оценку состояния водных экосистем р. Туул [23–25, 27, 30, 32]. Эколого-геохимический анализ горнопромышленных ландшафтов предполагает изучение миграции и аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в пределах всей речной долины. Цель работы — комплексное исследование геохимической трансформации ландшафтов на 25-километровом участке долины р. Туул, где

Abstract

Geochemical transformation of landscapes in the Tuul river valley in the region of the Zaamar goldfield (the Central Mongolia) is considered. Landscape and land-use zoning is carried out. Accumulation levels of heavy metals and metalloids in the soils are compared with the background contents. Chemical composition changes in bottom and suspended sediments in a 25-km section of the river and ponds are studied. The main factors that determine the geochemical heterogeneity of the investigated area are soil properties, land use types (for As, Co, Cu, Mo, W), organic matter (Mo, W) and MnO content (As, W), position in catena (Co).



находится месторождение Заамар. Для этого решались следующие задачи:

- ландшафтно-функциональное зонирование территории;
- изучение поступления, миграции и концентрации тяжелых металлов и металлоидов в выделенных зонах;
- выявление основных факторов геохимических изменений ландшафтов при разработке месторождения;
- оценка уровней техногенной трансформации почвенного покрова территории.

Работы проводились летом 2012 г. в сомоне Заамар аймака Түве в центральной части Монголии в составе Совместной комплексной российско-монгольской биологической экспедиции РАН и Академии наук Монголии.

Объект исследования

Территория исследований расположена в пределах Орхон-Селенгинского среднегорья между двумя крупнейшими горными массивами Северной Монголии — Хангаем на западе и Хэнтэем на востоке. Общей чертой рельефа является сочетание денудационной равнины с участками мелкосопочника и островными горами. Относительные высоты обрамляющих

речную долину хребтов составляют 100–200 м (рис. 1, а), абсолютные высоты колеблются в пределах 900–1 600 м [17].

Залегающие здесь в основании долины р. Туул горные породы представлены главным образом гранитами поздне-докембрийского и кембрийского возраста, перекрытыми кембрийско-ордовикскими метаморфическими сланцами с многочисленными золотоносными кварцевыми жилами и интрузиями габбро и гранитов ордовикского и девонского возраста. В последующие эпохи происходило слабое смятие пластов, их разрушение и эрозия [9]. Современная долина реки сформировалась в четвертичном периоде на подгорной аллювиальной равнине в результате денудации и отложения толщи делювиально-пролювиальных наносов [18].

Континентальность климата территории определяется ее относительно южным положением (49° с.ш.) и изолированностью крупными горными сооружениями. Средняя температура воздуха в январе составляет минус 22 — минус 27 °С. Отрицательные среднемесячные температуры могут держаться более полугода, почвы глубоко (на 3–4 м) промерзают. В июле среднемесячная температура воздуха составляет плюс 15 — плюс 20 °С [5]. За год выпадает в среднем 220 мм осадков, максимум приходится на три летних месяца, когда коэффициент увлажнения поднимается до 0,5–0,6.



Рис. 1. Долина р. Туул: ненарушенная (а) и трансформированная при разработке россыпного золота (б)

Река Туул длиной 704 км с площадью водосбора 49 840 км² берет начало на нагорье Хэнтэй в Восточной Монголии. В нижнем течении, где она пересекает горный хребет, ширина ее русла составляет 35–70 м, глубина — 0,8–3,5 м. Скорость течения достигает на отдельных перекатах 2 м/с и более, средний годовой расход — около 20 м³/с. Годовой ход уровней реки отличается большой неравномерностью (амплитуда колебаний до 2 м) и включает 5–7 паводков. Ледяной покров держится 130–160 дней, к концу зимы толщина льда может достигать 1 м [10]. В естественных условиях река течет в одном русле, ее дно преимущественно каменисто-галечниковое. При золотодобыче с использованием драг разрушаются русло и берега, образуются сложные системы запруд и мелких водотоков, отгороженных от основного русла насыпными грядами отвалов (рис. 1, б).

В низкоросле и по склонам южной экспозиции развиты зональные умеренно-сухие степные ландшафты, в среднегорье и на склонах северной экспозиции — лесные, на днище долины — пойменные. В степях преобладают разнотравно-мелко-дерновинно- и дерновинно-злаковые сообщества (ковыльных, вострорецово-ковыльных, типчаковых и др.). Территория относится к Орхон-Тольской почвенной провинции, где под ковыльно-полынными фитоценозами на карбонатных почвообразующих породах формируются темно-каштановые мучнисто-карбонатные почвы с мощным (до 20 см) гумусовым горизонтом (содержание гумуса от 0,5 до 2,6%, pH от 7,0 до 9,5) и горизонтом аккумуляции карбонатов (B_{Ca} , 10–20 см), состоящим на 20–30% из $CaCO_3$ [11].

В пойме р. Туул на участке Заамар преобладают аллювиально-дерновые почвы с дерновым горизонтом мощностью около 5 см, гумусовым горизонтом до глубины 15–20 см и нижележащим горизонтом супесчаного состава, сменяющимся на глубине 20–30 см песчано-галечниковыми отложениями. Верхняя часть профиля содержит 2,0–2,2 % гумуса и имеет щелочную реакцию среды с pH=7,5–8,4. На глубине около 50 см pH уменьшается до 6,6–6,9. Глубже, как правило, чередуются песчаные и суглинистые горизонты: песчаные со свободным доступом кислорода имеют ржавый цвет окиси железа; в суглинистых образуется глеевый барьер, для них характерен сизовато-серый цвет закисного железа [3]. В умеренно-сухих ковыльно-полынных фитоценозах долины реки преобладают полынь Адамса (*Artemisia Adamsii*), ковыль Крылова (*Stipa Krylovii*), чий блестящий (*Achantheron splendens*), лапчатка гусиная (*Potentilla anserina*). Для низкой поймы, оврагов и балок характерны включения древесных видов, преимущественно вяза (*Ulmus pumila*) [21].

Методы и материалы исследования

При почвенно-геохимической съемке через долину р. Туул заложено 7 поперечных профилей с 5–6 точками опробования в различных геохимических позициях и с различными типами землепользования (рис. 2). Пробы отбирались из поверхностного (0–10 см) почвенного горизонта. Смешанные пробы весом около 2–3 кг составлялись из 3–4 первично отобранных, взятых на расстояниях 3–5 м друг от друга (перемешивались

в лабораторных условиях). Общее количество проб составило 39.

На 25-километровом участке реки в зоне современной добычи золота было отобрано 17 проб донных отложений из заводей с небольшой скоростью течения, а также из искусственно созданных запруд. Опробование проводилось в фазу летних паводков — в июне 2012 г. Данные о расходах и химическом составе взвешенных наносов предоставлены М.Ю. Лычагиным и С.Р. Чаловым.

Образцы почв и донных осадков высушивались при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния, из них удалялись включения пород и корней, затем они измельчались в агатовой ступке и просеивались через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм. Их химический анализ проводился во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Elan-6100 (производства компании Perkin Elmer, США). В 50 пробах определено содержание 53 элементов, из которых для детального анализа выбраны 20 тяжелых металлов и металлоидов, наиболее вовлеченных в техногенные геохимические циклы. Диапазон измеряемых концентраций составляет 8 порядков, чувствительность — от 1×10^{-5} до $1 \times 10^{-6}\%$. Тем же методом в 30 образцах донных отложений, почв и отвалов измерено содержание ртути. В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ во всех образцах были определены общее содержание органического вещества (титриметрическим методом Тюрина) и актуальная кислотность (потенциометрическим методом с использованием pH-метра Piccolo plus

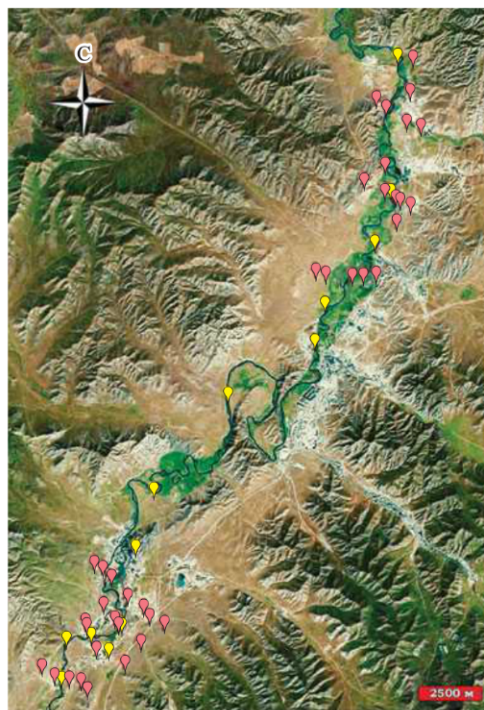


Рис. 2. Космический снимок территории исследования (<http://www.kosmosnimki.ru>) с точками отбора проб почв, техногенных поверхностных образований (пунсоны красного цвета) и донных отложений (пунсоны желтого цвета)



Н1 1295) в водно-почвенной суспензии при соотношении массы почвы и воды 1:5.

Химико-аналитические данные были обработаны в программном пакете Statistica 8 (компания StatSoft, 2007 г.) с вычислением среднего значения, среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации C_v , максимальных и минимальных значений. Были построены диаграммы размаха (англ. — box plots), показывающие медианы, границы типичных значений (25- и 75-процентный квартили), минимумы и максимумы содержания химических элементов в различных функциональных зонах.

Для фоновых почв рассчитывались кларки концентрации KK или кларки рассеяния KP рассматриваемых элементов:

$$KK = C_{\phi} / K_{\lambda} \text{ при } C_{\phi} > K_{\lambda}; \quad (1)$$

$$KP = K_{\lambda} / C_{\phi} \text{ при } K_{\lambda} > C_{\phi}, \quad (2)$$

где C_{ϕ} — содержание элемента в фоновых (ненарушенных) ландшафтах; K_{λ} — кларк литосферы.

Значения кларков для некоторых элементов заметно варьируют, поэтому для уточнения выводов об аномальности уровней содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах и техногенных поверхностных образованиях (ТПО) района авторами использовались кларки из разных литературных источников [6, 19, 31]. Для образцов из отвалов вскрышных пород и хвостов дражной промывки рассчитывались коэффициенты концентрации K_c или коэффициенты рассеяния K_p относительно фона:

$$K_c = C_{ТПО} / C_{\phi}; \quad (3)$$

$$K_p = C_{\phi} / C_{ТПО}, \quad (4)$$

где $C_{ТПО}$ — содержание элемента в ТПО.

Расчет выполнялся для отдельных ландшафтно-функциональных зон и в целом для территории исследования.

Основные количественные и качественные ландшафтно-геохимические факторы, контролирующие накопление элементов в почвах, ТПО и донных отложениях, были выявлены методом регрессионных «деревьев» в программном пакете SPLUS (компания MathSoft, 2004 г.). Данный метод позволяет прогнозировать уровни содержания металла и их вариабельность при различных сочетаниях факторов, а также оценивать значимость последних [13].

Экологическая опасность загрязнения ландшафтов при добыче золота оценивалась путем сравнения концентраций тяжелых металлов и металлоидов в почвах, ТПО, донных и взвешенных наносах с предельно допустимыми концентрациями (ПДК) в почвах, принятыми в Монголии для Pb, Cr, V, Ni, Co, Sr, Mo, Sn, Cu, Zn, As, Cd [12].

Результаты и их обсуждение

Ландшафтно-функциональное зонирование территории

Месторождение россыпного золота Заамар разрабатывается с 1994 г. гидромеханизированным методом с

использованием экскаваторов-драглайнов и драг. Нелегальными старателями ведется вторичная промывка отвалов.

Площадь промышленной золотодобычи составляет более 4000 га. Исследуемый участок речной долины состоит из пяти основных ландшафтно-функциональных зон, четыре из которых относятся к наземным и одна — к аквальному ландшафтам.

Зона современной разработки россыпного золота на участках поймы р. Туул — это территория техногенных «бедлендов», которая включает отвалы вскрыши и промывки, пруды-отстойники, полигоны современной отработки, пруды-накопители, отсыпки подъездных путей и другие промышленные объекты, разделенные речными выемками и искусственными временными водотоками (см. рис. 2). Растительный покров, почвы, система поверхностного и грунтового стока здесь сильно нарушены или полностью уничтожены.

Зона старых отвалов вскрышных пород и хвостов промывки примыкает к участкам разработки. Это промышленные отвалы 10-20-летней давности высотой 5-6 м со слабоволнистой поверхностью, зарастающей степными видами растений. Некоторые из них перекрыты делювиальным чехлом. Хвосты промывки сложены галечным материалом с малым содержанием мелкозема, растительный покров на них восстанавливается крайне медленно.

Зона рекультивации приурочена к небольшим участкам разровненных отвалов на пойме (рис. 3). Биологическая рекультивация заключается в линейной посадке вяза, тополя и некоторых других древесных пород.

Зона ненарушенных и слабонарушенных ландшафтов занимает преимущественно автономные и практически все склоновые позиции, а также незначительную часть поймы р. Туул с ковыльно-полынными степями (см. рис. 1, а).

Аквальная зона испытывает наибольшее техногенное воздействие. В пойме реки производится выемка грунта шагающими экскаваторами-драглайнами для создания каналов, которые затем проходят драги, отбирающие и промывающие аллювиальные отложения,



Рис. 3. Зона рекультивации на прииске Заамар в нижнем течении р. Туул

содержащие золото (рис. 4). Водозабор и последующий сброс отработанных дражных вод приводят к изменению гидродинамических характеристик речного потока и размыву обваловки запруд и каналов с увеличением стока наносов р. Туул.

Геохимическая характеристика фоновых ландшафтов

Региональные особенности химического состава поверхностного горизонта каштановых почв в зоне ненарушенных и слабонарушенных ландшафтов определялись путем сопоставления средних концентраций двадцати тяжелых металлов и металлоидов с их кларками. Установлено, что относительно кларков литосферы А.П. Виноградова [6] в фоновых почвах Заамара накапливается ассоциация элементов $Bi_{25,5}Cd_{23,3}As_{7,8}W_{3,0}Sb_{2,1}V_{1,6}$ (нижние индексы — *КК*). Другие результаты были получены при сравнении с кларками литосферы С.Р. Тейлора и С.М. Мак-Леннана [19] — $As_{7,3}Sb_{5,2}W_{2,6}Pb_{1,6}Sn_{1,5}Bi_{1,5}$ и кларками глин и сланцев Н. Turekian, К. Wedepohl [31] — $Bi_{25,5}Pb_{2,8}As_{2,0}W_{2,0}$. При значительных колебаниях значений *КК* повышенные концентрации относительно всех трех кларков имеют элементы ассоциации $Bi-As-W$, причем значительное содержание Bi объясняется тем, что этот металл является геохимическим спутником золота. Рассеиваются Ni, Cu, Co, Be, Mo, Cr ($K_p > 1,5$). Содержание Ba, Sr, V, Zn близко к глобальным кларкам литосферы.

Техногенная геохимическая трансформация наземных ландшафтов

Геохимические изменения техногенных отвалов, хвостов промывки и зон рекультивации обусловлены технологией добычи золота, которая предполагает осаждение частиц с большим удельным весом и удаление остального перерабатываемого материала с водным стоком. В результате в воде резко возрастает содержание взвеси и изменяется гранулометрический и минеральный состав аллювиальных отложений с ростом содержания одних элементов и уменьшением других. В ТПО и техногенно измененных почвах выделяется ассоциация элементов $Co-As-W-Ni-Zn-Sr$, на-

капливающих относительно их фонового содержания, которые дают ряд локальных максимумов, приуроченных в основном к зоне современной разработки (K_c в отдельных точках доходит до 2,8). Это, однако, не приводит к значимым изменениям средних значений (табл. 1). Судя по коэффициентам вариации C_v , наибольшей пространственной изменчивостью отличается распределение W и As . Концентрации ряда элементов в ТПО понижены относительно фона, поскольку они выносятся с твердым стоком (см. табл. 1). В зоне старых отвалов отмечено минимальное содержание Pb , в зоне рекультивации — Cu и Cr , в зоне современной разработки — Bi .

Анализ диаграмм размаха концентраций тяжелых металлов и металлоидов в трансформированных ландшафтах показал, что наибольшей частотой превышения 25%-ного квартиля (верхней границы типичных значений) отличаются концентрации Zn, Ni, Sr (рис. 5). Максимальный уровень содержания Zn и Ni характерен для зон современной разработки, в старых отвалах и особенно на рекультивированных участках их средние концентрации уменьшаются и даже становятся ниже фоновых, что свидетельствует об эффективности восстановительных мероприятий. Исключение составляет Sr , концентрации которого в зонах рекультивации наиболее высоки, что может быть обусловлено внесением удобрений и мелиорантов, содержащих его в виде примесей [4].

Таким образом, кардинальных изменений геохимической структуры территории не происходит. Геохимическая трансформация техногенных ландшафтов, обусловленная выносом с речным стоком тонких фракций, выражается как в увеличении, так и в уменьшении содержания некоторых тяжелых металлов и металлоидов в ТПО и почвах с образованием локальных низкоконтрастных аномалий.

Техногенная геохимическая трансформация аквальных ландшафтов

Оценка трансформации выполнена на основе анализа химического состава донных отложений и транспортируемых водным потоком взвешенных наносов с размером частиц 0,05—0,1 мм. Донные отложения на обследованном участке р. Туул охарактеризованы 17 пробами, три из которых отобраны выше по течению до разработок золота (фон), 13 — в зоне современной добычи и одна — в 60 км ниже по течению реки (рис. 6, а). В них, судя по значениям K_c , концентрации Sr, Ba, Sn, Sb были близки к фоновым, а концентрации $Pb, Cr, W, V, Ni, Co, Bi, Mo, Cu, Zn, As, Cd$ — ниже фоновых в 1,1–1,4 раза. При этом в пределах прииска содержание Cu, Ni, Co, As, Pb в донных отложениях нарастало вниз по течению реки. Максимальные концентрации $Cd, Bi, Cu, Ni, Co, As, Pb, Sn, Sb, Mo, Cr, Zn, V, Ba$ ($K_c=1,5-3,0$) приурочены к седиментационному геохимическому барьеру в донных отложениях запруд, которые сохранились после прохождения участка долины драгой. В условиях бессточного режима их загрязнение обусловлено двумя техногенными факторами — промышленной добычей и вторичной промывкой золота нелегальными старателями.

По сравнению с глобальными кларками [6, 19, 31] в донных отложениях повышено содержание ассоциа-



Рис. 4. Добыча золота с применением драги и шагающего экскаватора-драглайна на прииске Заамар в нижнем течении р. Туул



ции элементов Bi-As-W. Как уже отмечалось выше, эта ассоциация обусловлена региональной специализацией почвообразующих пород. Кроме того, донные отложения р. Туул обогащены по сравнению с кларками А.П. Виноградова [6], С.Р. Тейлора и С.М. Мак-Леннана [19] Sb ($KK=2,2\div5,4$) и Sn ($KK=1,2\div1,5$); относительно кларков глин и сланцев К. Турекяна (K. Turkian) и К. Ведыполя (K. Wedepohl) [31] в них повышено содержание Pb ($KK=2,5$). Таким образом, разработка месторождения золота ведет к накоплению в донных отложениях Sb, Sn, Pb.

Основным источником взвешенных наносов на территории разработок россыпного золота являются размываемые отвалы вскрышных пород и хвостов дражной промывки. Распределение концентраций 13 тяжелых металлов и металлоидов во взвешенных наносах характеризуется максимальными значениями $K_c=1,5\div2,0$ на территории месторождения и постепенным их уменьшением на 50-километровом участке ниже по течению до впадения в р. Орхон (рис. 6, б).

Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов

Регрессионный анализ позволил выявить основные факторы и условия, определяющие геохимическую неоднородность территории. Для As, Co, Cu, Mo, W, имеющих наибольшую вариабельность в почвах и ТПО, построены дендрограммы, характеризующие накопление элементов при различных сочетаниях ландшафтных факторов (автономности, нарушенности) и свойств почв (содержания Fe_2O_3 , MnO, гумуса, величины pH). Степень автономности ландшафта устанавливалась в зависимости от геохимической позиции, которая определяет условия миграции, интенсивность латерального перераспределения, зоны аккумуляции тяжелых металлов и металлоидов в почвах, а степень нарушенности — по принадлежности к функциональной зоне.

Ведущим фактором, контролирующим накопление всех рассматриваемых химических элементов, является содержание оксидов железа (табл. 2), обладающих высокой поглотительной способностью [8]. Второй по значимости фактор — величина pH, увеличение которой от 7,3 до 9,9 усиливает аккумуляцию As, Co, Cu, Mo в поверхностном горизонте почв, что подтверждается экспериментальными данными других авторов [16]. Оксиды марганца способствуют накоплению As и W благодаря образованию устойчивых органоминеральных соединений в окислительной среде [7]. В условиях гипергенеза Mn при низком его содержании чаще не образует собственных минералов, а входит в состав соединений Fe, которые способствуют аккумуляции As в почвах [2, 14].

Ненарушенные территории отличаются пониженными концентрациями As, Co, Cu, W. Для Mo характерно низкое содержание в старых отвалах (рис. 7, а). Накоплению Mo и W способствует увеличение содержания гумуса, которое в верхнем 10-сантиметровом слое почв составляет 0,5-3,4%. Положение в катене влияет только на содержание Co, который аккумулируется преимущественно в автономных позициях (рис. 7, б). Аналогичное катенарное распределение ряда тяжелых металлов в схожих ландшафтных условиях было отмечено в работе [1].

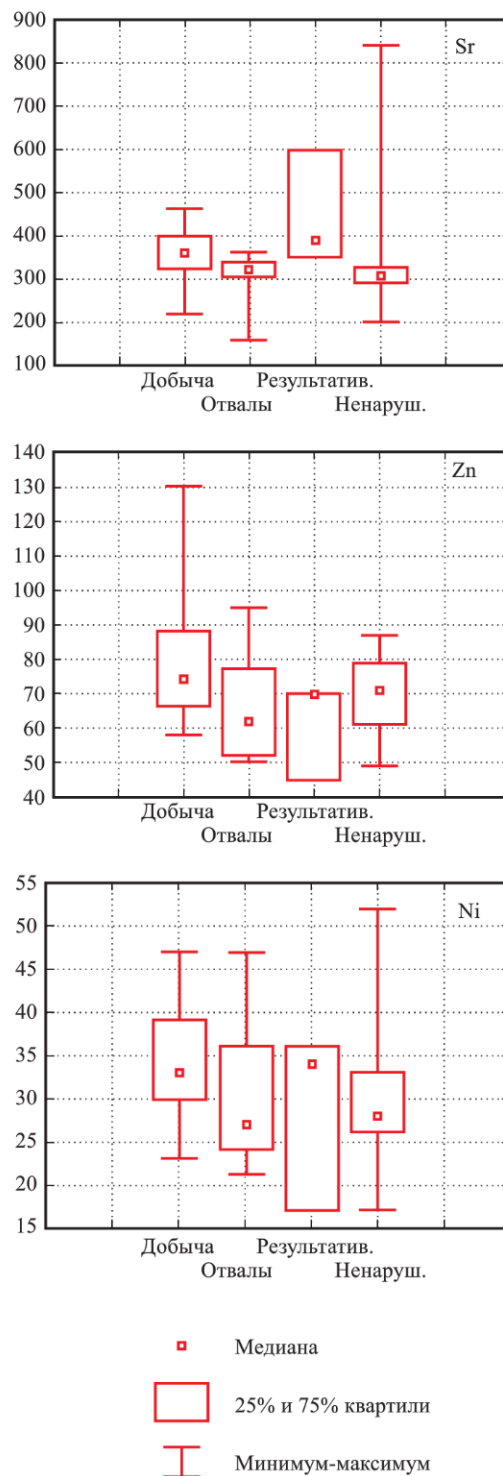


Рис. 5. Диаграммы размаха концентраций Sr, Zn, Ni в почвах и ТПО различных ландшафтно-функциональных зон. Вертикальные оси — концентрации соответствующих химических элементов, мг/кг; горизонтальные оси — места отбора проб: добыча — территория современной разработки в пойме р. Туул; отвалы — старые отвалы на поверхности поймы р. Туул; рекультив. — рекультивированные участки старых отвалов; ненаруш. — ненарушенные автономные и трансэлювиальные ландшафты (табл. 1)

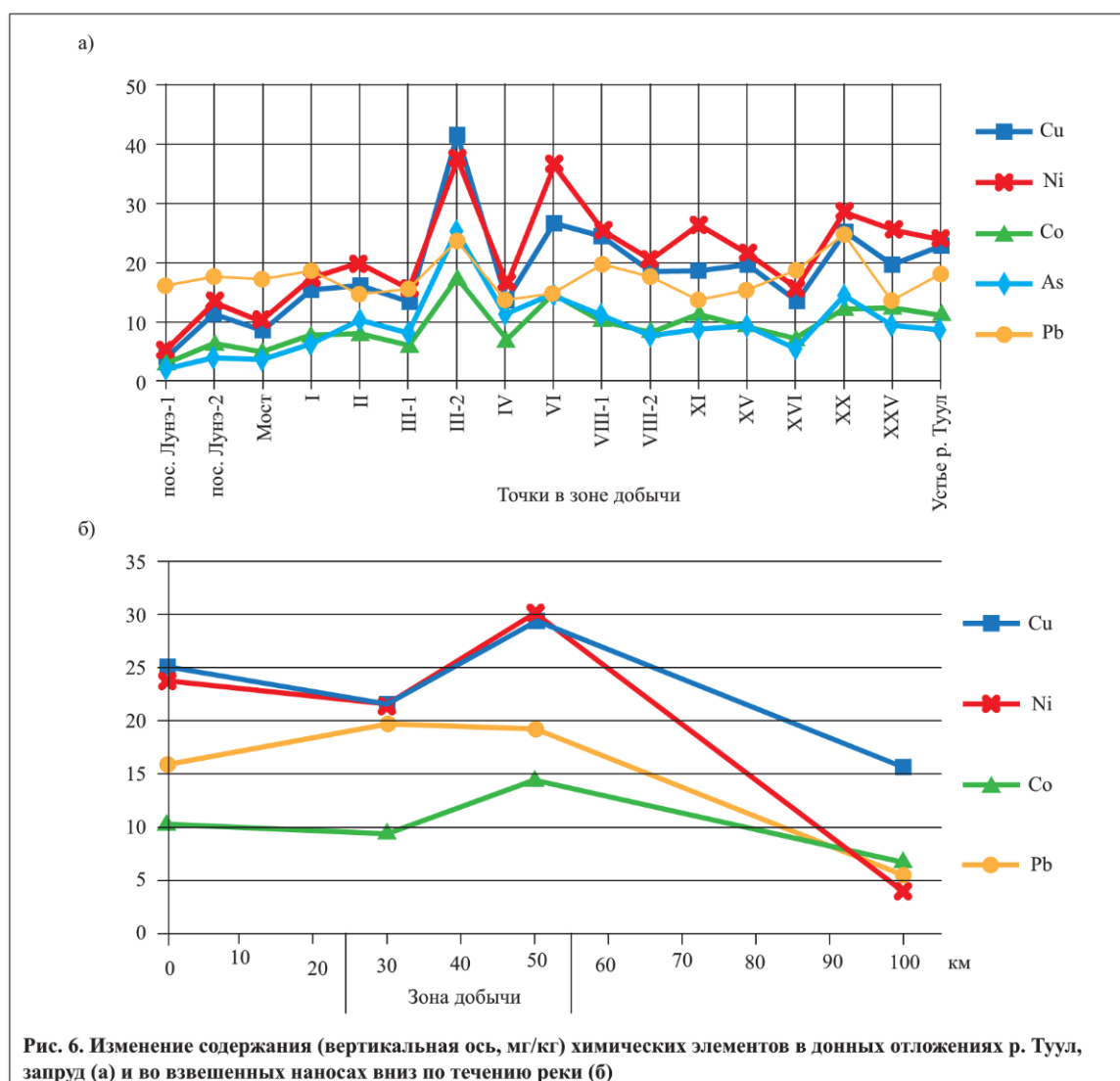


Таблица 1

Содержание (мг/кг) химических элементов и его вариабельность в почвах и ТПО различных ландшафтно-функциональных зон месторождения Заамар

Ландшафтно-функциональная зона (число проб)	Показатель	Элементы									
		накапливающиеся						рассеивающиеся			
		Zn	Ni	Co	W	Sr	As	Pb	Cr	Bi	Cu
Ненарушенные автономные и транслювиальные ландшафты (17)	Среднее содерж., мг/кг	72,2	31,4	14,2	3,9	336	13,2	19,7	74,8	0,26	29,7
	Мин.-макс. содерж., мг/кг	49–87	17–52	7,9–30	1,5–11	200–840	8,1–24	10–37	38–120	0,1–0,4	15–91
	Коэф. вариации C_v , %	13	31	39	63	43	36	31%	28	23	59
Современная разработка в пойме р. Туул (13)	Среднее содерж., мг/кг	76,6	32,2	15,3	3,3	361	14,5	16,7	68,3	0,23	26,2
	Мин.-макс. содерж., мг/кг	58–130	23–47	9,8–39	1,3–8,2	220–460	8–37	10–22	49–88	0,1–0,4	19–41
	Коэф. вариации C_v , %	25	19	49	53	18	53	20	18	37	23
Старые отвалы на поверхности поймы р. Туул (6)	Среднее содерж., мг/кг	66,3	30,3	12,9	3,8	302	15,7	15,8	69,8	0,23	26,5
	Мин.-макс. содерж., мг/кг	50–95	21–47	9,1–19	1,7–6,9	160–360	9,5–31	13–20	48–110	0,2–0,3	18–46
	Коэф. вариации C_v , %	26	32	27	45	24	50	15	31	27	39
Рекультивированные участки старых отвалов (3)	Среднее содерж., мг/кг	61,7	29,0	11,9	4,4	447	12,7	18,0	60,0	0,24	24,3
	Мин.-макс. содерж., мг/кг	45–70	17–36	7,6–14	2,7–6,3	350–600	8,1–17	17–19	41–70	0,2–0,3	15–31
	Коэф. вариации C_v , %	23	36	31	41	30	35	6	27	10	34



Таблица 2

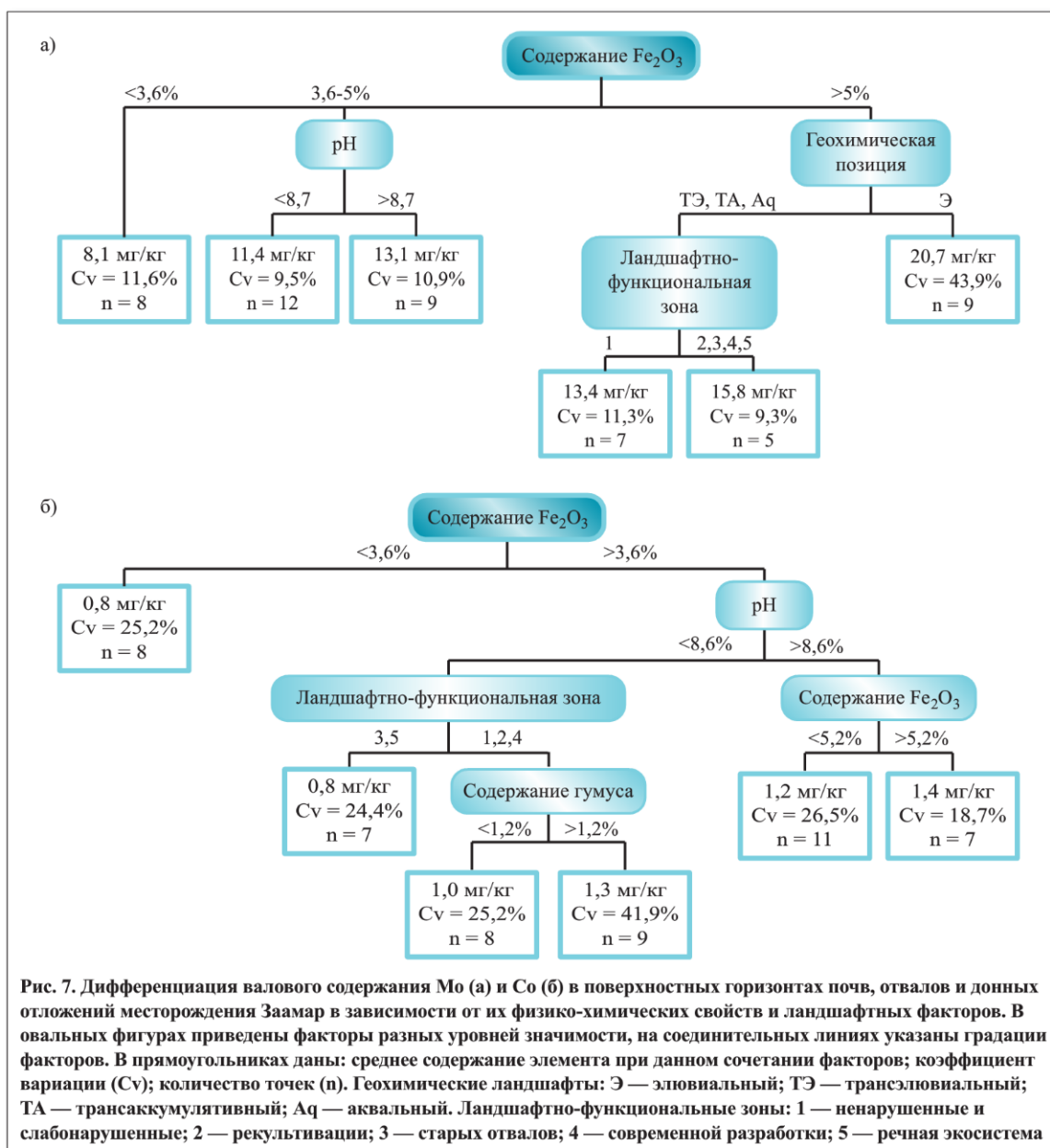
Эколого-геохимическая оценка состояния техногенных ландшафтов

Для оценки экологической опасности загрязнения ландшафтов при разработке месторождения Заамар концентрации Pb, Cr, V, Ni, Co, Sr, Mo, Sn, Cu, Zn, As, Cd в почвах, ТПО, донных и взвешенных наносах сравнивались с установленными в Монголии ПДК. Превышение государственных нормативов в техногенных отвалах, хвостах промывки и на рекультивированных участках было выявлено только для As (в среднем в 3,7 раза, в отдельных точках — до 9,3 раза) и V (в среднем в 1,1 раз, в отдельных точках — до 1,5 раза) (рис. 8). При этом в фоновых ландшафтах повсеместно зафиксировано превышение норматива по As в два и более раз и единичные точки с превышением по Sr в 1,2 раза. Из этого следует, что установленная в Монголии предельно допустимая концентрация As не учитывает региональные геохими-

Значимость* природных и антропогенных факторов накопления тяжелых металлов и металлоидов в почвах и ТПО месторождения Заамар

Фактор	Химический элемент				
	As	Co	Cu	Mo	W
Степень автономности	-	2 +	-	-	-
Степень нарушенности	4 +	3 +	4 +	3 -	3 +
Содержание MnO	2; 5 +	-	-	-	5 +
Содержание Fe ₂ O ₃	1; 2 +	1; 2 +	1; 2; 3 +	1; 3 +	1; 2; 3 -
Содержание гумуса	-	-	-	4 +	6 +
Величина pH	3 +	3 +	3, 4 +	2 +	2 -

* 1, 2, 3, 4, 5, 6 – ранги ослабления влияния фактора; знаки «+» или «-» означают, что с ростом значения фактора концентрация элемента соответственно увеличивается или уменьшается.



ческие особенности почв и почвообразующих пород, обогащенных этим элементом, что подтверждают выводы и других авторов [13, 15].

Концентрации остальных девяти металлов в почвах техногенных ландшафтов повышены относительно местного фона, но не достигают ПДК для суглинистых почв. Косвенную экологическую опасность может представлять увеличение содержания в почвах и ТПО фаз-носителей тяжелых металлов и металлоидов — Fe_2O_3 , MnO , гумуса, а также подщелачивание почв, усиливающие скорость аккумуляции этих элементов в почвах. Вносимые мелиоранты и органические удобрения могут стимулировать закрепление в почвах и ТПО техногенных ландшафтов ряда тяжелых металлов и металлоидов, в частности цинка (I класса опасности) и никеля (II класса опасности), уровни содержания которых в настоящее время близки к ПДК. Это обстоятельство необходимо учитывать при планировании рекультивационных работ на отвалах вскрышных пород и хвостах промывки.

В донных отложениях р. Туул и запруд в пределах рассматриваемого прииска превышены ПДК только по As (в среднем в 2,9 раза, в отдельных точках — до 6,5 раза). Концентрация V близка к ПДК, а концентрации остальных восьми элементов меньше предельно допустимых в среднем в 1,7–8,0 раза (рис. 9).

Загрязнение аквальных ландшафтов ртутью, выявленное на территории месторождения, является результатом процесса амальгамации при нелегальной добыче золота. Hg аккумулируется во взвешенных наносах р. Туул ($KK=1,2-2,0$), а также в донных отложениях пруда, в котором велась разработка золота ($KK=59$, превышение ПДК для суглинистых почв — в 4,7 раза). В составе взвеси переносится в среднем не более 20% общего содержания этого металла [4], остальное количество Hg, поступающее в речные воды, мигрирует в растворенной форме, что представляет особую экологическую угрозу, поскольку ртуть

относится к высокотоксичным веществам I класса опасности. В ненарушенных почвах речной долины, а также в отвалах вскрышных пород и хвостах дражной промывки Hg не накапливается.

Выводы

1. Интенсивный механогенез, включающий дражную переработку больших объемов пород с образованием отвалов, хвостов промывки и прудов-отстойников, приводит к изменению химического состава почв и ТПО. Геохимическая трансформация техногенных ландшафтов, обусловленная выносом с речным стоком тонких фракций, выражается как в увеличении, так и уменьшении содержания некоторых тяжелых металлов и металлоидов в ТПО и почвах с формированием локальных низкоконтрастных аномалий. По сравнению с фоновыми условиями почвы и ТПО на территории отвалов отличаются повышенным содержанием ассоциации элементов Zn-Ni-Sr с максимальными значениями K_c этих элементов до 2,8.

2. Создаваемые при промышленной и кустарной разработке россыпного золота аквальные ландшафты прудов-отстойников представляют собой седиментационные геохимические барьеры, на которых осаждается широкая ассоциация тяжелых металлов и металлоидов с коэффициентами накопления K_c по отношению к среднему содержанию в донных отложениях остальных аквальных ландшафтов от 1,3 до 3. Во взвешенных наносах р. Туул на участке прииска аккумулируются Sn, As, Hg, Co, Pb, Ni, Cu, Cr, Zn, V, Sr, Ba, коэффициент K_c которых по сравнению с составом взвеси за пределами прииска не превышает 2,7.

3. Основными параметрами почв, отвалов и донных отложений, контролирующими накопление As, Co, Cu, Mo, W, отличающихся наибольшей пространственной изменчивостью, являются их физико-химические свойства — количество оксидов Fe и величины pH. Mo и W накапливаются в органоминеральных формах, на что указывает корреляция их валовых концентраций с содержанием почвенного гумуса. Уровень содержания многих тяжелых металлов и металлоидов зависит также от степени техногенной нарушенности ландшафта, у Co отмечены максимальные концентрации в автономных ландшафтах.

4. Превышения ПДК, установленных в Монголии для суглинистых почв, зафиксированы в техногенно нарушенных наземных и аквальных ландшафтах у As (в 100% точек, средняя кратность превышения $K_o=3,7$, максимальная — до 9,3) и V (60%; 1,1; до 1,5 соответственно). Повсеместное превышение норматива для As зафиксировано в фоновых ландшафтах, что указывает на занижение ПДК этого элемента. Выявлено слабое загрязнение Hg речной взвеси и сильное, с превышением ПДК в 4,7 раза — донных отложений прудов. Накопление потенциально опасных тяжелых металлов и металлоидов может усилиться при внесении на рекультивируемых участках мелиорантов и органических удобрений, вызывающих увеличение содержания гумуса, оксидов Fe и Mn и величины pH и таким образом способствующих закреплению поллютантов в почвах и ТПО. ☞

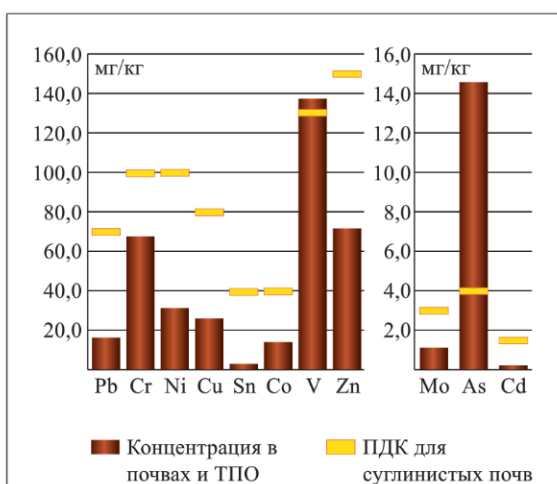


Рис. 8. Среднее содержание тяжелых металлов и металлоидов в почвах и ТПО нарушенных ландшафтов прииска Заамар по сравнению с их ПДК для суглинистых почв [12]. Вертикальные оси — концентрация, мг/кг; горизонтальные оси — элементы



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авессаламова И.А. Катенарная геохимическая дифференциация субсредиземноморских ландшафтов Северо-Западного Кавказа // Вестник Московского университета. Серия 5. 2009. № 2. С. 19-25.
2. Александрова О.А., Скорнякова Е.С. Данные по составу органического вещества железомарганцевых конкреций // Геохимия. 1994. № 1. С. 134-143.
3. Батхшииг О. Почвенно-геохимические особенности долины р. Туул: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Улан-Батор, 1999. 23 с.
4. Баикин В.Н., Касимов Н.С. Биогеохимия. М.: Научный мир, 2004. 648 с.
5. Береснева И.А. Климаты аридной зоны Азии. М.: Наука, 2006. 287 с.
6. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.
7. Водяницкий Ю.Н. Оксиды марганца в почвах. М.: Изд-во Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2005. 97 с.
8. Водяницкий Ю.Н., Ладонин Д.В., Савичев А.Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. 305 с.
9. Геология Монгольской Народной Республики. М.: Недра, 1977. 703 с.
10. Гидрологический режим рек бассейна р. Селенги и методы его расчета / под ред. В.А. Семенова, Б. Мягмаржава. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 235 с.
11. Доржготов Д. Почвы Монголии (генезис, систематика, география, ресурсы и использование): автореф. дис. ... д-ра биол. наук, М., 1992. 51 с.
12. Доржготов Д., Батхшииг О. Хөрсний чанар. Хөрс бохирдуулагч бодис, элементүүдийн зөвшөөрөгдөх дээд хэмжээ. Монгол улсын стандарт — Стандартчилал, хэмжилзүйн үндэсний төв. Улаанбаатар, 2008. 8 с. (на монг. яз.)
13. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Энх-Амгалан С. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) // Почвоведение. 2011. № 7. С. 771-784.
14. Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Хайбрахманов Т.С. Факторы накопления мышьяка и сурьмы в почвах Восточного округа Москвы // Материалы 6-й Международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» («ЭКОГИДРОМЕТ»), СПб, 2-4 июля 2012 г. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2012. С. 172-174.
15. Кошелева Н.Е., Киселева Т.М., Бажа С.Н., Энх-Амгалан С. Эколого-геохимическая оценка состояния почв г. Дархана (Монголия) // Труды Бурятского республиканского отделения Русского географического общества. Т. XIX. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2014. С. 34-42.
16. Мотузова Г.В., Карпова Е.А. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия. М.: Изд-во МГУ, 2013. 304 с.
17. Очерки физической географии Монголии. Улан-Батор: Бэмби сан, 2006. 550 с.
18. Селиванов Е.М. Неотектоника и геоморфология Монгольской Народной Республики. М.: Недра, 1978.
19. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция / пер. с англ. М.: Мир, 1988. 384 с.
20. Ширапова С.Д., Цырендоржиева Т.Б. Аспекты решения геоэкологических проблем добычи золота в Монголии // Труды Международной конференции «Экологические последствия биосферных процессов в экотонной зоне Южной Сибири и Центральной Азии Т. 1. Улан-Батор: Изд-во Бэмби сан, 2010. С. 75-77.
21. Экосистемы бассейна Селенги / под ред. Е.А. Востоковой, П.Д. Гунина // Биологические ресурсы и природные условия Монголии: труды совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции. Т. 44. М.: Наука, 2005. 359 с.
22. Burenjargal U., Munkhtsengel B. Assessment of environmental dangers caused by mercury contamination during mining activity in the Selenge River catchment / International Geological Congress Resumes. 2008. P. 33.
23. Byambaa B., Todo Y. Technological impact of placer gold mine on water quality: case of Tuul River valley in the Zaamar Goldfield, Mongolia // Engineering & Technology. World Academy of Science, June 2011. Issue 54. P. 167.
24. Dallas W. An assessment of environmental impact issues and issues relating to gold mining in the Zaamar Region, Mongolia. Washington, DC: World Bank Executive Summary, 1999. 13 p.
25. Farrington J. Environmental problems of placer gold mining in the Zaamar Goldfield, Mongolia // World Placer Journal. 2000, V. 1. P. 107-128.
26. Grayson R. Impacts of placer gold mining on the Red Book species of Mongolia // World Placer Journal. 2003. V. 3. URL: http://www.mine.mn/WPJ3_10_Red_Book_Species.pdf.
27. Khazheeva Z.I., Tulokhonov A.K., Urbazeva S.D. Distribution of metals in water, bottom silt, and on suspensions in the arms of the Selenga delta // Chemistry for Sustainable Development. 2006. V. 14. P. 279-285.
28. Purevdorj, S., Mühlenberg, M., Slowik J. The benthic insect larvae of the Eroo river, useful for monitoring water quality relating to gold-mining // International Journal of Ecohydrology and Hydrobiology. 2003. URL: <http://old.num.edu.mn/Default.aspx?tabid=344>.
29. Stubblefield A., Chandra S., Eagan S., et al. Impacts of gold mining and land use alterations on the water quality of Central Mongolian rivers // Integrated Environmental Assessment and Management. 2005. V. 1. № 4. P. 365-373.
30. Thorslund J., Jarsjo J., Chalov S.R., Belozeroва E.V. Gold mining impact on riverine heavy metal transport in a sparsely monitored region: the upper Lake Baikal Basin case // Journal of Environmental Monitoring. 2012. V. 14. P. 2780-2792.
31. Turekian K.K., Wedepohl K.H. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // Geological Society of America Bulletin. 1961. V. 72. P. 175-192.
32. Zandaryaa S., Aureli A., Merla A., et al. Transboundary water pollution in Baikal Lake Basin: the role of «surface — ground water» interactions and groundwater // «Uncertainties in Water Resource Management: Causes, Technologies and Consequences» International Conference. 2008. P. 94-105.

GEOCHEMICAL CHANGES OF LANDSCAPES DUE TO PLACER GOLD MINING AT THE ZAAMAR GOLDFIELD IN THE CENTRAL MONGOLIA

ALEKSEENKO A.V.

Postgraduate student of the geoecology department of the mining faculty of National Mineral Resources University (University of Mines), Saint-Petersburg, AleksAV@spmi.ru

KASIMOV N.S.

Head of the department of landscape geochemistry and soil geography and dean of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geography), professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Moscow, secretary@geogr.msu.ru

KOSHELEVA N.E.

Leading research scientist of the department of landscape geochemistry and soil geography of the geography faculty of Lomonosov Moscow State University, DSc (doctor of science in Geography), Moscow, natala@mail.ru

Geochemical transformation of landscapes in the Tuul river valley around the Zaamar goldfield in Central Mongolia was considered. Migration and accumulation of heavy metals and metalloids in the 25-km section of the river valley were studied. For this purpose, landscape and land-use zoning was done, the levels of accumulation of chemical elements in discriminated zones were determined and the main factors which determine geochemical changes in the course of deposit mining were identified.

The study is based on the data of soil-geochemical survey in 2012. They include the results of content determination of 20 metals and metalloids by mass-spectrometry with inductively coupled plasma in 39 samples of topsoils (from the depths of 0–10 cm) and 17 samples of bottom sediments. The total content of organic matter and the actual acidity were determined in the soil samples by conventional methods.

Analysis of the obtained data showed that intensive mechanogenesis, which includes dredging of large volumes of rocks and forming dumps, tailings and ponds, leads to changes in the chemical composition of soils and technogenic surface formations (TSF). Geochemical transformation of technogenic landscapes caused by removal of fine fractions with river runoff is expressed in increase or decrease of the content of some heavy metals and metalloids with formation of local low-contrast anomalies. Soils

and TSFs on the territory of dumps are characterized by increased (up to 2.8 times) content of Zn-Ni-Sr as compared with the background levels.

Aquatic landscapes of settling ponds formed during industrial and artisanal placer gold mining are sedimentary geochemical barriers where a wide association of heavy metals and metalloids is deposited with the enrichment factor values between 1.3 and 3.0 in relation to the average content in sediments of the other aquatic landscapes. Sn, As, Hg, Co, Pb, Ni, Cu, Cr, Zn, V, Sr, Ba accumulate in suspended sediments within the section of the Tuul river where gold mining occurs.

The main parameters of soils, TSFs and river sediments which control accumulation of As, Co, Cu, Mo, W with maximum spatial variability were established using the method of regression «trees». The most important are the physical and chemical properties of storage media (amounts of Fe and Mn oxides and pH values) as well as the type of land use. Mo and W accumulate in organomineral forms as indicated by correlation of their total concentrations with the total content of soil humus; Co is characterized by maximum concentrations in autonomous landscapes, on the tops of hills.

The excesses of the maximum permitted concentrations (MPCs) adopted in Mongolia for loamy soils are fixed in technogenically disturbed ground and aquatic landscapes for As (in 100% of sampling points, the average rate of excess is 3.7, the maximum one is 9.3) and V (60%, 1.1 and 1.5 respectively). Ubiquitous excess of the standard for As is observed in background landscapes that indicates an underestimated value of the MPC of this element. Weak Hg pollution of the river suspension and heavy contamination of the bottom sediments of settling ponds with the MPC excess of 4.7 times were revealed. Enhanced accumulation of potentially dangerous heavy metals and metalloids at the remediated plots may be originated from application of ameliorants and organic fertilizers with increased pH values and content of humus, oxides of Fe and Mn and thus promotes fixation of pollutants in soils and TSFs.

REFERENCES

1. *Avessalomova I.A.* Katenarnaya geokhimicheskaya differentsiatsiya subsredizemnomorskikh landshaftov Severo-Zapadnogo Kavkaza // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5.* 2009. № 2. S. 19–25 (Rus.).
2. *Aleksandrova O.A., Skornyakova E.S.* Dannye po sostavu organicheskogo veshchestva zhelezomargantsevykh konkretyy // *Geokhimiya.* 1994. № 1. S. 134–143 (Rus.).
3. *Batkhisig O.* Pochvenno-geokhimicheskie osobennosti doliny r. Tuul: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Ulan-Bator, 1999. 23 s. (Rus.).
4. *Bashkin V.N., Kasimov N.S.* *Biogeokhimiya.* M.: Nauchnyy mir, 2004. 648 s. (Rus.).
5. *Beresneva I.A.* Klimaty aridnoy zony Azii. M.: Nauka, 2006. 287 s. (Rus.).
6. *Vinogradov A.P.* Srednee sodержание khimicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod zemnoy kory // *Geokhimiya.* 1962. № 7. S. 555–571 (Rus.).
7. *Vodyanitskiy Yu.N.* Oksidy margantsa v pochvakh. M.: Izd-vo Pochvennogo in-ta im. V.V. Dokuchaeva, 2005. 97 s. (Rus.).
8. *Vodyanitskiy Yu.N., Ladonin D.V., Savichev A.T.* Zagryaznenie pochv tyazhelyimi metallami. M.: Tipografiya Rossel'khozakademii, 2012. 305 s. (Rus.).
9. *Geologiya Mongol'skoy Narodnoy Respubliki.* M.: Nedra, 1977. 703 s. (Rus.).
10. *Gidrologicheskiy rezhim rek basseyna r. Selengi i metody ego raschyeta / pod red. V.A. Semenova, B. Myagmarzhava. L.: Gidrometeoizdat.* 1977. 235 s. (Rus.).



11. *Dorzhtogov D.* Pochvy Mongolii (genezis, sistematika, geografiya, resursy i ispol'zovanie): avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk, M., 1992. 51 s. (Rus.).
12. *Dorzhtogov D., Batkhisig O.* Khörsniy chanar. Khörs bokhirduulagch bodis, elementyydiyn zövshөөrөгdөkh deed khemzhee. Mongol ulsyn standart — Standartchilal, khemzhilzyyn yndesniy төv. Ulaanbaatar, 2008. 8 s. (Mong.).
13. *Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Sorokina O.I., Bazha S.N., Gunin P.D., Enkh-Amgalan S.* Ekologo-geokhimicheskoe sostoyanie pochv g. Ulan-Bator (Mongoliya) // *Pochvovedenie*. 2011. № 7. S. 771—784.
14. *Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Khaybrakhmanov T.S.* Faktory nakopleniya mysh'yaka i sur'my v pochvakh Vostochnogo okruga Moskvy // *Materialy 6-y Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Ekologicheskie i gidrometeorologicheskie problemy bol'shikh gorodov i promyshlennykh zon» («EKOLOGIDROMET»)*, SPb, 2-4 iyulya 2012 g. SPb: Izd-vo RGGMU, 2012. S. 172-174 (Rus.).
15. *Kosheleva N.E., Kiselyeva T.M., Bazha S.N., Enkh-Amgalan S.* Ekologo-geokhimicheskaya otsenka sostoyaniya pochv g. Darkhana (Mongoliya) // *Trudy Buryatskogo respublikanskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva*. T. XIX. Ulan-Ude: Izd-vo Buryatskogo gosuniversiteta, 2014. S. 34-42 (Rus.).
16. *Motuzova G.V., Karpova E.A.* Khimicheskoe zagryaznenie biosfery i ego ekologicheskie posledstviya. M.: Izd-vo MGU, 2013. 304 s. (Rus.).
17. *Ocherki fizicheskoy geografii Mongolii*. Ulan-Bator: Bembi san, 2006. 550 s. (Rus.).
18. *Selivanov E.M.* Neotektonika i geomorfologiya Mongol'skoy Narodnoy Respubliki. M.: Nedra, 1978 (Rus.).
19. *Taylor S.R., Mak-Lennan S.M.* Kontinental'naya kora: ee sostav i evolyutsiya / per. s angl. M.: Mir, 1988. 384 s. (Rus.).
20. *Shirapova S.D., Tsyrendorzhieva T.B.* Aspekty resheniya geokologicheskikh problem dobychi zolota v Mongolii // *Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii «Ekologicheskie posledstviya biosfernykh protsessov v ekotonnoy zone Yuzhnoy Sibiri i Tsentral'noy Azii* T. 1. Ulan-Bator: Izd-vo Bembi san, 2010. S. 75-77 (Rus.).
21. *Ekosistemy basseyna Selengi / pod red. E.A. Vostokovoy, P.D. Gunina* // *Biologicheskie resursy i prirodnye usloviya Mongolii: trudy sovместnoy Rossiysko-Mongol'skoy kompleksnoy biologicheskoy ekspeditsii*. T. 44. M.: Nauka, 2005. 359 s. (Rus.).
22. *Burenjargal U., Munkhtsengel B.* Assessment of environmental dangers caused by mercury contamination during mining activity in the Selenge River catchment / *International Geological Congress Resumes*. 2008. P. 33.
23. *Byambaa B., Todo Y.* Technological impact of placer gold mine on water quality: case of Tuul River valley in the Zaamar Goldfield, Mongolia // *Engineering & Technology. World Academy of Science*, June 2011. Issue 54. P. 167.
24. *Dallas W.* An assessment of environmental impact issues and issues relating to gold mining in the Zaamar Region, Mongolia. Washington, DC: World Bank Executive Summary, 1999. 13 p.
25. *Farrington J.* Environmental problems of placer gold mining in the Zaamar Goldfield, Mongolia // *World Placer Journal*. 2000, V. 1. P. 107-128.
26. *Grayson R.* Impacts of placer gold mining on the Red Book species of Mongolia // *World Placer Journal*. 2003. V. 3. URL: http://www.mine.mn/WPJ3_10_Red_Book_Species.pdf.
27. *Khazheeva Z.I., Tulokhonov A.K., Urbazaeva S.D.* Distribution of metals in water, bottom silt, and on suspensions in the arms of the Selenga delta // *Chemistry for Sustainable Development*. 2006. V. 14. P. 279-285.
28. *Purevdorj, S., Mühlenberg, M., Slowik J.* The benthic insect larvae of the Eroo river, useful for monitoring water quality relating to gold-mining // *International Journal of Ecohydrology and Hydrobiology*. 2003. URL: <http://old.num.edu.mn/Default.aspx?tabid=344>.
29. *Stubblefield A., Chandra S., Eagan S., et al.* Impacts of gold mining and land use alterations on the water quality of Central Mongolian rivers // *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2005. V. 1. № 4. P. 365-373.
30. *Thorslund J., Jarsjö J., Chalov S.R., Belozeroва E.V.* Gold mining impact on riverine heavy metal transport in a sparsely monitored region: the upper Lake Baikal Basin case // *Journal of Environmental Monitoring*. 2012. V. 14. P. 2780-2792.
31. *Turekian K.K., Wedepohl K.H.* Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust // *Geological Society of America Bulletin*. 1961. V. 72. P. 175—192.
32. *Zandaryaa S., Aureli A., Merla A., et al.* Transboundary water pollution in Baikal Lake Basin: the role of «surface — ground water» interactions and groundwater / «Uncertainties in Water Resource Management: Causes, Technologies and Consequences» International Conference. 2008. P. 94-105.