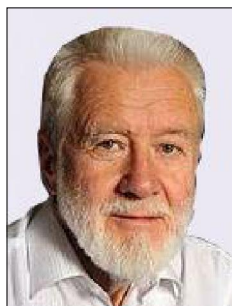


ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ РАЗРАБОТКОЙ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

GEOCHEMICAL LANDSCAPE CHANGES CAUSED BY THE DEVELOPMENT OF ORE DEPOSITS



В. А. Алексеенко,
Государственный морской
университет имени адмирала
Ф. Ф. Ушакова,
г. Новороссийск
vl.al.alekseenko@gmail.com

Alekseenko V. A.,
Admiral Ushakov Maritime State
University, Novorossiysk



Г. А. Юргенсон,
Институт природных
ресурсов, экологии
и криологии СО РАН,
г. Чита,
yurgga@mail.ru

Yurgenson G. A.,
Institute of Natural
Resources, Ecology and
Cryology SB RAS, Chita



Н. В. Швыдкаяд,
Кубанский государственный
аграрный университет
имени И. Т. Трубилина,
г. Краснодар
nepeta@mail.ru

Shvydkaya N. V.,
Kuban State Agrarian
University, Krasnodar



А. В. Пузанов,
Институт водных
и экологических проблем
СО РАН г. Барнаул
puzanov@iwep.ru

Puzanov A. V.,
Institute for Water and
Environmental Problems,
Siberian Branch of the Russian
Academy of Sciences, Barnaul

Рассмотрены геохимические изменения в ландшафте, произошедшие в результате отработки телетермальных месторождений ртути Сахалинское и Перевальное (Краснодарский край), колчеданного цинка и меди Уруп (Ставропольский край), полиметаллического Текели (Казахстан) и Савинское № 5 полиметаллического месторождения (Забайкалье), расположенных в различных ландшафтно-геохимических и климатических зонах. Установлена геохимическая специализация почв и техноземов, сохраняющаяся на протяжении десятилетий после окончания деятельности горнопромышленных предприятий. Отмечено, что существенное изменение претерпевают хвостохранилища, занятые ими, и примыкающие к ним территории. Рассмотрены особенности изменений, обусловленные способами отработки месторождений различных минеральных типов. Показано изменение техногенных массивов, обусловленное различными природными факторами. Для хвостохранилища Нерчинского полиметаллического комбината, разработывавшего полиметаллические месторождения в Восточном Забайкалье, установлены изменения, связанные с прорывом борта хвостохранилища и выносом на ландшафт техноземов, содержащих токсичные концентрации Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi. Указано, что в условиях сухого резко континентального климата происходит существенное участие эоловых процессов в миграции материала хвостохранилищ с выносом его за их пределы и отложение на окружающем ландшафте. При этом выносятся преимущественно материал легкой фракции и находящиеся в зернах примесей токсикогенов. Изменения геохимической ситуации объясняются совместным влиянием внутренних и внешних факторов миграции. Преобладающей является физико-химическая. Отмечено, что роль биогенной миграции и вовлечение веществ в биологический круговорот под влиянием рассматриваемого техногенеза существенно уменьшились с уменьшением биомассы. Эти процессы продолжают более 50...80 лет после закрытия рудников. Непосредственно на участках рудников в данных условиях водная миграция поллютантов преобладает над воздушной. В сухостепных районах с резко континентальным климатом, с интенсивными ливневыми дождями развита водная механическая миграция. Существенное значение имеет эоловая форма миграции. Вследствие этих процессов происходит вынос токсичных концентраций химических элементов на природный ландшафт.

Сделан вывод, что процессы самовосстановления ландшафтно-геохимических условий зависят от климатических факторов, определяющих развитие биомассы

Ключевые слова: техногенез; рудные месторождения; телетермальные месторождения ртути; медно-цинковые колчеданные месторождения; полиметаллические месторождения; отходы горного производства; химические элементы; почвы; технозоны; эоловые процессы; биогеохимические особенности территорий

Geochemical changes in the landscape that occurred as a result of the development of the Sakhalin and Pervalnnoye (Krasnodar Territory) mercury sulphide deposits, the pyrite zinc and copper of the Urup (Stavropol Territory), the polymetallic Tekeli (Kazakhstan) and the Savinskoe no. 5 of the polymetallic (Transbaikalia), located in various landscapes – geochemical and climatic zones. Geochemical specialization of soils and technosoils, which has been preserved for decades after the end of mining enterprises, has been established. The tailings, which are occupied by them and adjacent territories, undergo a significant change. The peculiarities of the changes caused by methods of working out deposits of various mineral types are considered. The change in technogenic massifs due to various natural factors is shown. Changes were made to the tailing dump of the Nerchinsk Polymetallic Combine, which was developing polymetallic deposits, related to the breakthrough of the tailings and the removal of technosoils containing toxic concentrations of Zn, Pb, Cd, As, Sb, Bi in the landscape. In the conditions of dry sharply continental climate, aeolian processes take place in the migration of tailings material with its outflow and deposits on the surrounding landscape. In this case, the material of the light fraction and toxicogenic impurities in the grains are predominantly removed. Changes in the geochemical situation are explained by the combined influence of internal and external factors of migration. Physicochemical is predominant. The role of biogenic migration and the involvement of substances in the biological cycle under the influence of the considered technogenesis significantly decreased with a decrease in biomass. These processes continue for more than 50...80 years after the closure of mines. Directly to the mines in these conditions, the water migration of pollutants prevails over the air. In dry-steppe regions with a sharply continental climate, with intense torrential rains, water mechanical migration is developed. The aeolian form of migration is essential. As a result of these processes, toxic concentrations of chemical elements are removed to the natural landscape.

The conclusion is drawn that the processes of self-restoration of landscape-geochemical conditions depend on the climatic factors that determine the development of biomass

Key words: technogenesis; ore deposits; telethermal deposits of mercury; copper-zinc pyrite deposits; polymetallic deposits; mining wastes; chemical elements; soils; technosoils; biogeochemical features of territories; aeolian processes

Введение. Проблема влияния добычи полезных ископаемых на состояние геохимических ландшафтов, в первую очередь почвенно-растительного яруса, весьма актуальна и является предметом изучения на протяжении последних двух десятилетий [2–4; 6–11]. На примере горнопромышленных комплексов, разрабатывавших различные месторождения в разных климатических зонах, показано влияние добычи и переработки минерального сырья на состояние геоэкосистем [5; 7]. Довольно важной является и проблема вероятного «самовосстановления» ландшафтно-геохимических условий. Она усугубляется в тех случаях, когда ландшафт претерпевает существенные изменения, обусловленные не только водной миграцией химических элементов, но и эоловым переносом и временными потоками хвостов обогащения на окружающий ландшафт. В странах с высоким уровнем экономического развития, высокой плотностью населения

и дефицитом сельскохозяйственных угодий приемлемы высокие затраты на восстановление почв и реконструкцию нарушенного рельефа. В странах и регионах, где такой возможности или необходимости нет, техногенная рекультивация обычно не производится и горно-промышленный ландшафт обречен на самовосстановление. Поэтому проблема вероятного «самовосстановления» ландшафтно-геохимических условий и возможность самопроизвольной биологической рекультивации в этих случаях является актуальной.

Материал и методы исследований. Использовались материалы ландшафтно-геохимического картографирования в масштабе 1 : 500 000 территории от Среднерусской возвышенности до Черного, Азовского и Каспийского морей. На Северо-Западном Кавказе, в пределах которого расположены месторождения ртути, такие работы проводились дважды с интервалом 13...14 лет. На юге европейской части России отобрано свыше

3000 проб. В Коксу-Текелийском рудном районе Казахстана при поисках месторождений отобрано 15 тыс. проб из верхнего горизонта почв. Их результаты также использованы в данной работе для геохимической характеристики региона. Для сравнения использованы данные о поведении мышьяка, висмута, цинка, свинца, других химических элементов в ландшафтах геосистемы Савинского № 5 полиметаллического месторождения в Забайкалье. На месторождениях проводилось площадное опробование горных пород, руд, почв, техноземов и растений. Шаг отбора проб, в том числе и на отвалах карьеров, штолен и отстойников, менялся от 2...5 до 250 м. Контрольное опробование проводилось в объеме 3...5 %. Изучены разрезы рыхлого материала хвостохранилищ, преобразование их поверхности и эрозионных процессов вследствие воздействия ливневых потоков, прорыва дамб и эолового переноса рыхлого материала на ландшафт прилегающих речных долин.

Все пробы почв и золы растений подвергались спектральному анализу на 14...25 элементов в аттестованной и аккредитированной Центральной испытательной лаборатории Кавказгеолсъемки, а также в лаборатории СЖС Восток Лимитед (г. Чита) методом ICP-MS, зав. лабораторией Т. Л. Попова. Химический анализ растений провели методом ICP-MS на спектрофотометре ICP-MS Elan 9000 PerkinElmer (США) методом кислотного разложения ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98, Стандартный образец: Тр-1 (ГСО № 8922-2007), в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН аналитики А. В. Штарева, В. Е. Зазулина, Л. С. Бокоченко, А. Ю. Лушникова, Д. В. Авдеев, Е. М. Голубева. Нижний порог определения (НПО) для свинца ~0,01 мкг/кг.

Результаты исследований. Техногенная миграция в рассматриваемых случаях является важнейшей только на период непосредственной отработки месторождений, приводит к формированию нового промышленного ландшафта. До начала освоения изучаемая территория представляла собой естественные лесные и лесостепные ландшафты. По окончании работ по добыче полезных ископаемых, под влиянием природных процессов происходит два типа изменений ландшафта. На территориях, где непосредственно

осуществлялась добыча (карьеры, шахты, штольни, отвалы вскрышных и околорудных и пустых пород), начинается переход от промышленного ландшафта к биогенному. Этот переход без вмешательства людей называют «самовосстановлением ландшафта», которое должно сопровождаться «геохимическим самоочищением» его отдельных частей.

Ландшафтно-геохимические изменения на этапе добычи и создания отвалов горных пород зависят от способа добычи минерального сырья.

Подземным способом обрабатывались полиметаллическое месторождение Текели, медно-цинковое месторождение Уруп, полиметаллическое Савинское № 5. Ртутные месторождения Сахалинское и Перевальное разрабатывались подземным и открытым способами. Добыча руды сопровождается, как правило, изменением постоянного источника химических элементов, поступающих в ландшафт, т. е. почвоподстилающих пород. Растительные сообщества, сформировавшиеся в отработанных карьерах и на отвалах, отличаются простотой строения, средним или низким видовым разнообразием, медленным ростом и пониженной жизненностью лесобразующих пород. Полного восстановления лесных ландшафтов за 80 лет не произошло.

На третьем уровне учитываются особенности миграции-концентрации химических элементов в почвах, а также и техноземах как непосредственно в хвостохранилищах, так и на прилегающем ландшафте в случае прорыва дамб и других ограждающих сооружений. При отработке месторождений на миграцию элементов в почвах могут оказать значительное влияние подземные воды и воздушное перемещение химических элементов (IV и V уровни). Влияние этих факторов во многом связано с климатическими и геоморфологическими особенностями района (VII уровень), в том числе возникшими в результате техногенеза (VIII уровень, табл. 1).

На территориях, занятых отвалами обогащения руд, сохранившихся и обезвоженных хвостохранилищ наряду с биогенными процессами, а чаще всего одновременно с ними происходит интенсивное преобразование толщ хвостов обогащения. Оно выражается в разрушении бортов хвостохранилищ, их обезвоживании и водной эрозии толщ хвостов обогащения и их перемещении. В

результате прорыва борта хвостохранилища огромные массы обогащенного токсичными концентрациями мышьяка и других химических элементов вынесены на ландшафт в долину речки Урулюнгуй. Установлено очень сильное загрязнение (V – наиболее высокий его уровень) мышьяком (80...600 г/т), слабое и умеренное загрязнение (II–III уровень) цин-

ком (305...587 г/т) и кадмием (2,9...5 г/т). Под действием временных потоков, обусловленных типичными для Юго-Восточного Забайкалья ливневыми дождями, происходит размыв обезвоженной поверхности хвостохранилища и вынос огромных масс отходов обогащения на окружающий ландшафт (рис. 1).



Рис. 1. Размытая временными водными потоками поверхность хвостохранилища /
Fig. 1. The surface of the tailings dump eroded by temporary water flows

На хвостохранилище Нерчинского ГОКа установлен интенсивный эоловый перенос тонкопсаммитовой фракции отходов обогащения полиметаллических руд через его борта в долину р. Урулюнгуй с образованием покрова на почве, содержащего элементы в токсичных концентрациях. Под действием сильных ветров в весеннее время происходит перенос рыхлого материала хвостохранилища через дамбу и его сортировка по размерам и плотности частиц [2–4]. Содержания всех элементов, кроме Bi , минимальны в пороодо-рудных отвалах штольни, тогда как максимальны они в хвостохранилище, за исключением As в северной и южной чашах. Максимальны концентрации As , Pb , Zn и Sb в песках.

Открытая отработка вызывает наибольшие ландшафтно-геохимические изменения, учитываемые на III и VII «таксономических уровнях», а также, но в меньшей мере, – на всех остальных (таблица). Развитие этих изменений связано с созданием карьеров и отвалов горных пород и сопровождающими его уничтожением почвенно-растительного горизонта ландшафта и нарушением процессов миграции-концентрации элементов. В глубоких ($n \cdot 10$ м) карьерах, находящихся в горных лесных ландшафтах, за 50...80 лет после закрытия рудников мощность рыхлых образований на их дне в среднем не превышает первых десятков сантиметров, несмотря на сползание первичных лесных почв с окружающих их ландшафтов.

Схема классификации геохимических ландшафтов суши (по В. А. Алексеевко) /
Scheme of classification of geochemical landscapes of the land (V. A. Alexseeenko)

Ландшафты, объединенные на каждом уровне / Examples of landscapes of each level		Биогенные / Biogenic		Техногенные / Technogenic				Абиогенные / Abiogenic	
Классификационные уровни / Classification levels	Ведущие признаки объединения геохимических ландшафтов на данном уровне / Landscape characteristics considered at the level	Леса: — лиственные; — смешанные; — хвойные / Forests: — deciduous; — mixed; — coniferous	Леса лиственные: — дубово-грабовые; — ольховые; — тополивые и Т. Д. / Deciduous forests: — oakhornbeam; — alder; — poplar, etc.	Сельскохозяйственные: 1. Промышленные. 2. Лесотехнические. 3. Населенные пункты. 4. Дорожные. 5. Разведки и отработки полезных ископаемых 6. Военные / 1. Agricultural. 2. Industrial. 3. Forestry. 4. Localities. 5. Road. 6. Exploration and mining. 7. Military	Сельскохозяйственные: — с севооборотом однолетних культур; — то же, многолетних культур; — животноводческие / Agricultural: — with rotation of annual crops; — perennial crops; — cattle-breeding	Многолетних культур: — сады; — виноградники; — чайные плантации; — ягодные плантации; — ореховые плантации / Perennial crops: — gardens; — vineyards; — tea plantations; — berry plantations; — nut plantations	Однолетних культур: — меллиорирuemые; — немеллиорирuemые / Annual crops: — amended; — not amended	Меллиорирuemые: — осушаемые; — орошаемые; — перидумские заливаемые / Amended: — dehumidified; — irrigated; — periodic	Ледники / Glaciers
I	Преобладание ведущего вида миграции / The leading migration pathway	1. Леса. 2. Степи. 3. Пустыни. 4. Тундры и верховые болота. 5. Примитивные пустыни / 1. Forests. 2. Steppes. 3. Deserts. 4. Tundras. 5. Primitive deserts							
II	Особенности ведущего вида миграции / Peculiarities of the leading migration pathway								
III	Характеристика почв (части ландшафта с наибольшим напряжением геохимических процессов) / Soil properties	1. С окислительной обстановкой (свободным O ₂). 2. С восстановительной глеевой обстановкой (без свободного O ₂ и H ₂ S). 3. С сероводородной обстановкой / 1. Oxidising environment (available O ₂). 2. Reductive gley environment (not available O ₂ and without H ₂ S). 3. Hydrogen sulphide environment (not available O ₂ and with H ₂ S)	1. Кислые и слабокислые (pH<3). 2. Нейтральные и слабощелочные pH=6.5...8.5). 3. Сильнощелочные (pH>5.5) / 1. Ultra acidic (pH<3). 2. Acidic to moderately acidic (pH 3...6.5). 3. Neutral to moderately alkaline (pH 6.5...8.5). 4. Strongly alkaline (pH>8.5)	С различным набором гипоморфных водных мигрантов H ⁺ , Al ³⁺ , Fe ³⁺ , Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ ; SO ₄ ²⁻ , HSO ₄ ⁻ ; Cl ⁻ и др. / Various hypomorphous water migrants: H ⁺ , Al ³⁺ , Fe ³⁺ , Ca ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ ; SO ₄ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ ; Cl ⁻ ; OH ⁻ , etc.	С различным содержанием органических соединений / Various content of organic compounds				

Всего 21 класс водной миграции (по А. И. Перельману) / 21 water migration classes of the chemical elements (after A. I. Perelman)

Окончание таблицы

<p>IV</p> <p>Характеристика подземных вод / Properties of ground and glacial waters</p>	<p>1. С окислительной обстановкой (свободным O₂). 2. С восстановительной глеевой обстановкой (без свободного O₂ и H₂S). 3. С сероводородной обстановкой / 1. Oxidising environment (available O₂). 2. Reductive gley environment (not available O₂ and without H₂S). 3. Hydrogen sulphide environment (not available O₂ and with H₂S)</p>	<p>1. Сильнокислые (pH<3). 2. Кислые и слабокислые (pH=3...6,5). 3. Нейтральные и слабощелочные (pH=6,5...8,5). 4. Сильнощелочные (pH>8,5) / 1. Ultra acidic (pH<3). 2. Acidic to moderately acidic (pH 3...6,5). 3. Neutral to moderately alkaline (pH 6,5...8,5). 4. Strongly alkaline (pH>8,5)</p>	<p>С различным набором типоморфных водных мигрантов / Various typomorphic water migrants</p>
<p>V</p> <p>Особенности воздушной миграции / Properties of aerial migration</p>	<p>Подвержены воздушной эрозии / Subjected to aeolian (wind) erosion</p>	<p>Не подвержены воздушной эрозии / Not subjected to aeolian (wind) erosion</p>	<p>С современным отложением эолового материала / Containing contemporary aeolian sediments</p>
<p>VI</p> <p>Отношение к многолетней мерзлоте / Permafrost properties</p>	<p>С отсутствием многолетней мерзлоты / Without permafrost</p>	<p>С развитием прерывистой многолетней мерзлоты / Discontinuous permafrost areas</p>	<p>Со сплошным развитием многолетней мерзлоты / Continuous permafrost areas</p>
<p>VII</p> <p>Геоморфологические особенности / Geomorphological properties</p>	<p>1. Равнинные области. 2. Низкогорье и среднегорье. 3. Высокогорные области / 1. Plains. 2. Lowlands and midlands. 3. Highlands</p>	<p>Равнинные области: — элювиальные; — трансэлювиальные; — трансаккумулятивные; — трансупераквальные / Plains: — eluvial; — trans-eluvial; — trans-accumulative; — trans-superaquatic</p>	<p>Элювиальные: — остроконечные; — плосковершинные / Eluvial: — peak-topped; — flat-topped</p>
<p>VIII</p> <p>Особенности постоянного природного источника химических элементов, поступающих в ландшафт (почвопедстиляющие породы) / Properties of parent rocks</p>	<p>1. Осадочные породы. 2. Магматические породы. 3. Интенсивно метаморфизированные породы / 1. Sedimentary rocks. 2. Magmatic rock. 3. Intensively metamorphosed rocks</p>	<p>Осадочные породы: — карбонатные; — терригенные; — карбонатно-терригенные / Sedimentary rocks: — carbonaceous; — terrigenous; — carbonaceous and terrigenous</p>	<p>Карбонатные породы: — известковые; — доломитовые; — известковые с конкрециями сидерита / Carbonaceous rocks: — limestones; — dolomites; — limestones with sideritic concretions</p>

Маломощные почвы, сформировавшиеся на дне рудных карьеров под влиянием временных водных потоков, отличаются для месторождений Hg повышенным средним содержанием Mo, Ni и Ti. Концентрацию двух первых можно объяснить осаждением на глинистом сорбционном барьере, созданном материалом, содержание которого на рассматриваемых участках увеличено в среднем в пять раз. Осаждение Ti в виде TiO₂ шло на механическом барьере, когда скорость несущего водного потока уменьшалась на его дне. В почвах, сползших на дно карьеров, содержание Ag, Ba, Co, Mn, Pb, Sn, Sr и V выше, чем в почвах, формирующихся под влиянием временных водных потоков и в почвах окружающих лесных ландшафтов. Для Sn и V характерно образование сложных комплексных ионов, плохо растворимых гидролизованых соединений, о чем свидетельствуют величины потенциалов Карлсдаля от 3 до 12. Судя по значениям величин радиусов ионов и по величинам их энергетических коэффициентов А. Е. Ферсмана, Ba, Co и V не могли вместе концентрироваться из истинных растворов. Для Ag, Pb и Sn биогенное накопление несущественно. Для Pb характерна концентрация на сероводородном барьере, а для Mn – на кислородном и т. д. Наиболее вероятно концентрация рассматриваемых элементов на дне карьера в результате осаждения на механическом и сорбционном геохимических барьерах при определенной роли биогенного накопления для Co, Mn, Sr и V. На состав растворов, из которых шло осаждение, оказывают влияние почвы, расположенные над карьером и обнажившиеся в результате техногенеза коренные горные породы бортов и дна карьеров.

Древесная растительность появляется на дне карьеров только на участках сползших почв и отличается от окружающей лесной сниженным видовым разнообразием, медленным ростом, невысокой жизнестойкостью и, как следствие, уменьшенной в 4...5 раз биомассой. Средние содержания Zn, Cu, Ga, Mo, Sr в деревьях на дне ртутных карьеров (а также на отвалах) повышены в 1,2...2,5 раза (Zn редко до 5 раз) по сравнению с природным фоном для Северо-Западного Кавказа. Ассоциации химических элементов, находящиеся в почвах дна карьера и в произрастающих на них растениях, различны. Это вызвано биогеохимическими особенностями

растений в условиях изменившихся геохимических особенностей почв. Для Zn, Cu, Mo, Sr биогенное накопление играет существенную роль в гипергенных геохимических процессах. Все эти элементы с повышенным содержанием в растениях имеют близкие размеры ионных радиусов (от 0,68 Å у Mo до 0,96 Å у Cu) и относятся к водным мигрантам. Поэтому вероятно их совместное поступление из водных растворов, заполняющих карьер.

За время после отработки месторождений нарушенную территорию освоили 25...30 % видов флоры прилегающих зональных сообществ, среди них наиболее пластичными в естественных и полустепных фитоценозах оказались сосны Коха и крымская (*Pinus kochiana* Klotzsch ex K. Koch, *P. pallasiana* D. Don), робиния лжеакация (*Robinia pseudoacacia* L.), ежевика кавказская (*Rubus caucasicus* Focke), тростник южный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin ex Steudel) и др. В лесостепном районе развиваются преимущественно полевые Гмелина (*Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm.), таран (горец) узколистный (*Aconogonon angustifolium* Pallas), таран (горец) полигональный (*Polygonum arenastrum*), мак голостебельный (*Papaver nudicaule* L.), лапчатка скученная (*Potentilla acervata* L.), пятилистник кустарниковый (*Pentaphylloides fruticosa* (L.) O. Schwarz), пятилистник мелколистный (*Pentaphylloides parvifolia* (Fischer ex Lehm.) Sojak), дендрантема Завадского (*Dendranthemum zawadskii* (Herb.) Tzvelev), иван-чай узколистный (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.) и др.

При подземной добыче в районе выходов горных выработок выявлены наибольшие эколого-геохимические изменения, но на незначительной территории (обычно до 1 км²). Содержания основных рудных элементов на таких участках часто равны содержаниям в рудах (рис. 2, свинцово-цинковое месторождение Текели). Величины местных коэффициентов концентрации, представляющие собой отношение средних содержаний в почвах на руднике к кларку почв Земли, часто равняются не только десяткам, но и сотням, как это установлено на месторождении Текели: Pb – 225, Zn – 30,6; Ba – 15,5; Cu – 74.

В результате подземной отработки руд образуются отвалы горных пород. На медно-цинковом месторождении Уруп кроме породных отдельно созданы породно-рудные отвалы [1]. На первых складировались

вмещающие руду «пустые» горные породы с большим содержанием пирита, а на вторых вмещающие породы перекрываются рудами, которые, при производственной необходимости, отвозятся на обогатительную фабрику (рис. 3). На отвалах ртутных и медно-цинковых месторождений процесс почвообразования после 50 лет отработки и складирования находится в зачаточном состоянии, и только на отдельных «островках» размером от 3х5 м до 25х2 м встречаются почвы (эмбриоземы).

Их мощность обычно не превышает первых сантиметров, достигая у подножия отвалов 5 см. Это же характерно и для отвалов околорудных пород вблизи стволов шахты на месторождениях Савинское № 5, Кличкинском и Почекуевском, где преобладают пиритсодержащие околорудно-измененные породы, содержащие Pb, Zn, Cd, As, Sb в концентрациях, превышающих кларки на 1,5...2,3 порядка.

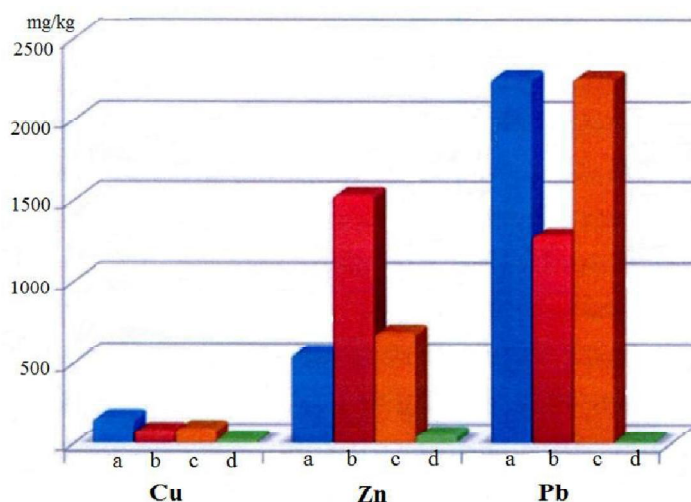


Рис. 2. Геохимические изменения в верхнем почвенном горизонте после добычи и обогащения свинцово-цинковых руд: а – у входа во вспомогательные шахты; б – на шахтном дворе; с – на рекультивированном отстойнике обогатительной фабрики; д – кларк почв Земли / Fig. 2. Geochemical changes in the upper soil horizon after mining and processing of lead-zinc ores: a – at the entrance to auxiliary mines; b – at the mine yard; c – at the recultivated sedimentation tank of the processing plant; d – soil clark of the Earth

Процессы восстановления растительного покрова более выражены на выположенных участках нефункционирующих отвалов, а также в их нижней части у подножия склонов. В древостое обычна береза повислая (*Betula pendula* Roth), реже или единично встречаются: бук восточный (*Fagus orientalis* Lipsky), граб обыкновенный (*Carpinus betulus* L.), дуб черешчатый (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.), ольха серая, о. клейкая (*Alnus glutinosa* (L.) Gaerth., *A. incana* (L.) Moench), всего до 15 видов, что составляет 60 % от общей дендрофлоры техногенных ландшафтов Урупского месторождения.

Среднее содержание в золе растений на отвалах Урупского месторождения Ag, Ba, Li, Ni, Pb, Sr и Zn выше аналогичных показателей для золы растений суши. Также следует отметить увеличение содержания Ag, Co, Cu, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, W, Zn в вегетативных органах

растений на отвалах месторождения по сравнению с окружающими лесами.

Влияние климатических факторов видно при сравнении последствий отработки месторождений ртути Сахалинского, расположенного в зоне горного умеренно-континентального климата на северных склонах Северо-Западного Кавказа и Перевального на южных склонах в зоне более влажного средиземноморского. При одинаковых геотехногенных изменениях образование на отвалах горных пород тонкой фракции (менее 0,25 мм) в условиях континентального климата за 50 лет было меньше в 1,3...1,8 раза. При этом в почвах, формирующихся в условиях континентального климата, возросла концентрация в 1,3...1,6 раза Cr, V, Zn, Cu, Pb, а уменьшилась лишь Mn. Следовательно, в условиях более влажного средиземноморского климата скорость дезинтеграции

обломков на отвалах и почвообразования выше, чем в более засушливых условиях, и сопровождается выносом ряда металлов. Судя по довольно близким размерам их ион-

ных радиусов (от 0,65 у Cr до 1,3 у Pb) и потенциалов ионизации (от 6,7 у Cr до 9,3 у Zn), вынос мог происходить в форме истинных растворов.

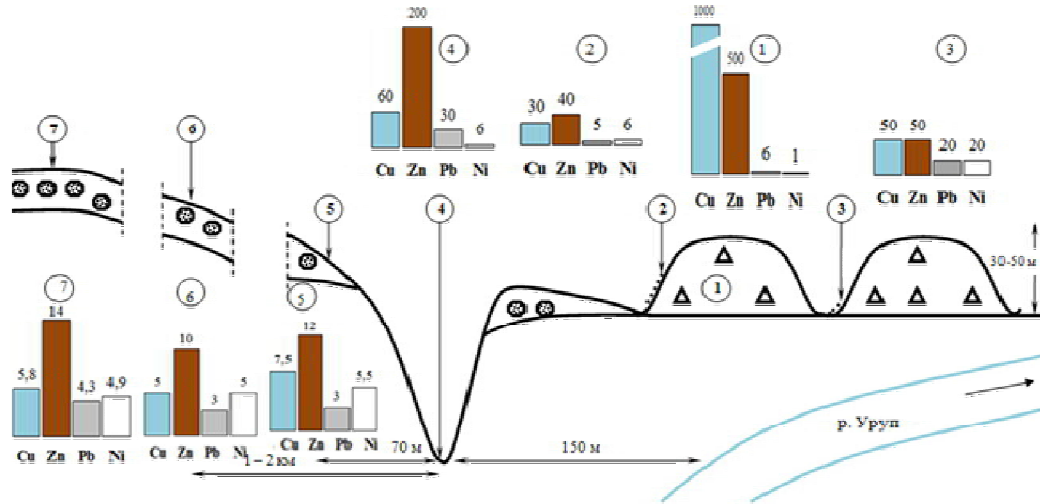


Рис. 3. Схема расположения отвалов и средние содержания ($n \cdot 10^{-3} \%$) ряда металлов в почвах на участках Урупского рудного района, в различной мере удаленных от отвалов

☼ почвы ▲ обломки горных пород формирующиеся почвы

1 – породный отвал; 2 – «островки» почв с растениями на породных отвалах; 3 – участок с почвами и растениями у подножья породно-рудного отвала; 4 – отводная канава; 5 – лесной ландшафт, расположенный в районе отвалов, но выше их и недоступный водной миграции от них; 6 – лесной ландшафт более чем в 1...2 км от отвалов; 7 – лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа

/ Fig. 3. The scheme of waste dumps location and average content ($n \cdot 10^{-3} \%$) of a number of metals in soils in the areas of the Urupsky ore district, in varying degrees distant from the waste dumps

☼ почвы ▲ обломки горных пород формирующиеся почвы

1 – waste dump; 2 – “islets” of soils with plants on waste dumps; 3 – site with soils and plants at the foot of the waste dump; 4 – diversion ditch; 5 – forest landscape located near the waste dumps, but above them and inaccessible to water migration from them; 6 – forest landscape more than 1...2 km from the waste dumps; 7 – forest landscapes of the North-West Caucasus

На обоих месторождениях Hg в отвалах, созданных в трансаккумулятивных, более увлажненных, ландшафтах, увеличилась (по сравнению с отвалами в водораздельных частях) скорость почвообразования, появились влаголюбивые древесно-кустарниковые и травянистые виды растений, а в почвах уменьшилось среднее содержание Ag, Cu, Pb, Sn и Zn. Близость величин кристаллохимических показателей позволяет считать, что эти элементы совместно выносились в водных растворах, чему способствовала повышенная увлажненность нижних частей склонов. В золе листьев граба обыкновенного (*Carpinus betulus* L.), растущего на дне карьера только на участках сползших почв, повышены в 1,2...2,5 раза содержания Co, Cr, Cu, Ga, Mo и Sr.

Скорость формирования почв (даже начала фиксируемого процесса) зависит и от

площади отвалов. В случае ее больших размеров за 50...70 лет в центральных частях практически не отмечено почвообразования и появления растительности. Разрыхлению обломков горных пород, предшествующему почвообразованию, способствует воздействие на них серной кислоты, образующейся при окислении пирита.

Роль атмосферного переноса загрязняющих веществ от отвалов, учитываемую на V таксономическом уровне (таблица), видна на примере месторождения Уруп (рис. 4): существенное загрязнение почв через атмосферу от отвалов не происходило даже на расстоянии до 1000 м.

В результате водной миграции в почвах района Урупского рудника повысилось содержание Zn (1110) > Cu (315) > Pb (81) > Mo (16,8) > V (15) > Ag (11,85) > Ni (3) > W (0,9) > Ge (0,42) > Sn (0,30). Близость размеров

ионных радиусов Zn, Cu, Ag, Pb, Sn и т. д. позволяет считать, что они вместе находились в растворе и могли сконцентрироваться в почвах на испарительном барьере. Такие элементы, как Cu, Zn, Pb, Ag, Sn, Mo, судя по близким величинам потенциалов ионизации

(7,5 до 9,3), переходили в ионный раствор с одинаковыми энергетическими затратами. Это могло происходить при растворении минералов из породных и породно-рудных отвалов, чему способствовала кислота, образующаяся при окислении пирита.

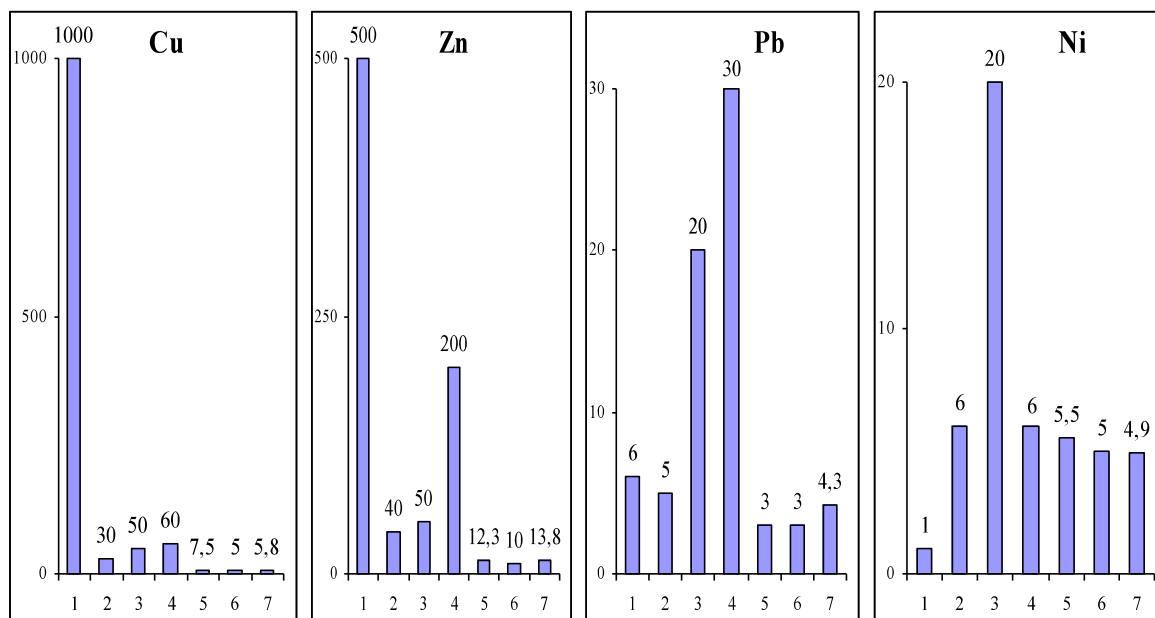


Рис. 4. Средние содержания ($n \cdot 10^{-3} \%$) ряда металлов в почвах на участках Урупского рудного района, в различной мере удаленных от отвалов: 1 – породный отвал; 2 – «островки» почв с растениями на породных отвалах; 3 – участок с почвами и растениями у подножья породно-рудного отвала; 4 – отводная канава; 5 – лесной ландшафт, расположенный в районе отвалов, но выше их и недоступный водной миграции от них; 6 – лесной ландшафт более чем в 1...2 км от отвалов; 7 – лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа / Fig. 4. Average content ($n \cdot 10^{-3} \%$) of a number of metals in the soils of the Urupsky ore district, in varying degrees distant from the dumps: 1 – waste dump; 2 – “islets” of soils with plants on waste dumps; 3 – site with soils and plants at the foot of the waste dump; 4 – diversion ditch; 5 – forest landscape located near the waste dumps, but above them and inaccessible to water migration from them; 6 – forest landscape more than 1...2 km from the waste dumps; 7 – forest landscapes of the North-West Caucasus

Выводы. Ландшафтно-геохимические изменения, вызванные обработкой рудных месторождений, фиксируются на всех рассмотренных уровнях. К наибольшим относятся геоморфологические, связанные с созданием карьеров и отвалов горных пород, а также хвостохранилищ. Судя по скорости почвообразования за 80 лет, они сохраняются без рекультивации столетия.

Изменения геохимической ситуации объясняются совместным влиянием внутренних и внешних факторов миграции. Преобладающей является физико-химическая. Роль биогенной миграции и вовлечение веществ в биологический круговорот геотехногенеза

существенно уменьшились с уменьшением биомассы. Эти процессы продолжают более 50...80 лет после закрытия рудников.

Непосредственно на участках рудников в данных условиях водная миграция поллютантов преобладает над воздушной.

В сухостепных районах с резко континентальным климатом, с интенсивными ливневыми дождями развита водная механическая миграция. Существенное значение имеет золотая форма миграции. Вследствие этих процессов происходит вынос токсичных концентраций химических элементов на природный ландшафт.

Список литературы

1. Аламбиева Е. В. Производственная деятельность человека и ее возможные последствия // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 377. С. 163–166.
2. Бортникова С. Б., Гаськова О. Л., Присекина Н. А. Геохимическая оценка потенциальной опасности отвальных пород Ведугинского месторождения // Геохимия. 2010. № 3. С. 295–310.
3. Ерёмин О. В., Эпова Е. С., Юргенсон Г. А., Смирнова О. К. Прогноз геоэкологических последствий разработки месторождения вольфрама Бом-Горхон (Забайкалье) // Химия в интересах устойчивого развития. 2014. Вып. 22. С. 125–131.
4. Цыганок В. И., Баболя З. В., Вологдин М. Г. Оценка влияния на окружающую среду объектов заброшенных рудников Акатуй, Благодатский, Вершино-Дарасунский // Геология и минералогия Забайкалья: сборник докладов. Чита, 2010. С. 291–294.
5. Alekseenko V. A., Bech J., Alekseenko A. V., Shvydkaya N. V., Roca N. Environmental impact of disposal of coal mining wastes on soils and plants in Rostov Oblast, Russia // Journal of Geochemical Exploration. 2018. Vol. 184. P. 261–270.
6. Alekseenko V. A., Pashkevich M. A., Alekseenko A. V. Metallisation and environmental management of mining site soils // Journal Geochemical Exploration. 2017. Vol. 174. P. 121–127.
7. Alekseenko V. A., Shvydkaya N. V., Alekseenko A. V., Yashchinin S. B. Natural restoration of mining influenced soils in the Northwestern Caucasus, Russia // Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils. 2017. P. 275–296.
8. Baroni F., Boscagli A., Lella L. A., Protano G., Riccobono F. Arsenic in soil and vegetation of contaminated areas in southern Tuscany (Italy) // Journal Geochemical Exploration. 2004. No. 81. P. 1–14.
9. Gröbner J., Bayerl R., Kolitsch U. Weitere Beobachtungen Zu den Uran – und Vanadium-Paragenesen der Grube Clara aus den Jahren 2001, 2004 und 2005 // Erzgräber. 2006. No. 20. P. 1–10.
10. Jonnalagadda S. B., Nenzou G. Studies on arsenic rich mine dumps. The heavy element uptake by vegetation // Journal Environmental Science and Health. 1997. No. 2. P. 455–464.
11. Toshiaki Ito, Fumio Kanaf, Kazuro Bando. Techniques and methods of arsenic contaminated groundwater exploration in the Hetao plain of Inner Mongolia, China // Geology in China, 2010. Vol. 37. No. 3. P. 730–739.

References

1. Alampieva E. V. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* (Bulletin of the Tomsk State University Bulletin), 2013, no. 377, pp. 163–166.
2. Bortnikova S. B., Gaskova O. L., Prisekina N. A. *Geohimiya* (Geochemistry), 2010, no. 3, pp. 295–310.
3. Eremin O. V., Epova E. S., Yurgenson G. A. *Khimiya v interesah ustoychivogo razvitiya* (Chemistry for Sustainable Development), 2014, vol. 22, pp. 125–131.
4. Tsyganok V. I., Babolya Z. V., Vologdin M. G. *Geologiya i minerageniya Zabaykaliya: sbornik dokladov* (Geology and Minerageny of Transbaikalia: collected reports). Chita, 2010, pp. 291–294.
5. Alekseenko V. A., Bech J., Alekseenko A. V., Shvydkaya N. V., Roca N. *Journal of Geochemical Exploration* (Journal of Geochemical Exploration), 2018, vol. 184, pp. 261–270.
6. Alekseenko V. A., Pashkevich M. A., Alekseenko A. V. *Journal Geochemical Exploration* (Journal Geochemical Exploration), 2017, vol. 174, pp. 121–127.
7. Alekseenko V. A., Shvydkaya N. V., Alekseenko A. V., Yashchinin S. B. *Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils* (Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils), 2017, pp. 275–296.
8. Baroni F., Boscagli A., Lella L. A., Protano G., Riccobono F. *Journal Geochemical Exploration* (Journal Geochemical Exploration), 2004, no. 81, pp. 1–14.
9. Gröbner J., Bayerl R., Kolitsch U. *Erzgräber* (Erzgräber), 2006, no. 20, pp. 1–10.
10. Jonnalagadda S. B., Nenzou G. *Journal Environmental Science and Health* (Journal Environmental Science and Health), 1997, no. 2, pp. 455–464.
11. Toshiaki Ito, Fumio Kanaf, Kazuro Bando *Geology in China* (Geology in China), 2010, vol. 37, no. 3, pp. 730–739.

Коротко об авторах

Алексеенко Владимир Алексеевич, д-р геол.-минер. наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности, Государственный морской университет имени адмирала Ф. Ф. Ушакова, заслуженный деятель науки и техники РФ, г. Новороссийск, Россия. Область научных интересов: геохимия, поиски месторождений, биогеохимия, экология
vl.al.alekseenko@gmail.com

Юргенсон Георгий Александрович, д-р геол.-минер. наук, заведующий лабораторией геохимии и рудогенеза, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, профессор кафедры химии, Забайкальский государственный университет, заслуженный деятель науки РФ, г. Чита, Россия. Область научных интересов: минералогия, геохимия, рудогенез, геммология
yurgga@mail.ru

Швыдкая Наталья Владимировна, канд. биол. наук, доцент кафедры ботаники и кормопроизводства, Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, г. Краснодар, Россия. Область научных интересов: экология растений, биогеохимия
nepeta@mail.ru

Пузанов Александр Васильевич, д-р биол. наук, профессор, директор, Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН, г. Барнаул, Россия. Область научных интересов: почвоведение, биогеохимия, геоэкология наземных экосистем, оценка воздействия горнорудной промышленности на окружающую среду
puzanov@iwer.ru

Briefly about the authors

Vladimir Alekseenko, doctor of geol.-mineralogical sciences, professor, Safety of Life department, State Maritime University named after Admiral F. F. Ushakov, Honored Worker of Science and Technology of the Russian Federation, Novorossiysk, Russia. Sphere of scientific interests: geochemistry, search of deposits, biogeochemistry, ecology

Georgy Yurgenson, honored scientific worker of RF, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, head of Geochemistry and Ore Deposits Genesis laboratory, Institute of Nature Resources, Ecology and Criology SB RAS, professor, Chemistry department, Transbaikal State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineralogy, geochemistry, gemology and ore deposits genesis

Natalya Shvydkaya, candidate of biological sciences, associate professor, Botany and Feed Production department, Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia. Sphere of scientific interests: plant ecology, biogeochemistry

Alexander Puzanov, doctor of biological sciences, professor, director, Institute of Water and Environmental Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia. Sphere of scientific interests: soil science, biogeochemistry, geo-ecology of terrestrial ecosystems, environmental impact assessment of the mining industry

Образец цитирования

Алексеенко В. А., Юргенсон Г. А., Швыдкая Н. В., Пузанов А. В. Ландшафтно-геохимические изменения, вызванные разработкой рудных месторождений // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 5. С. 6–17. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-5-6-17.

Alekseenko V., Yurgenson G., Shvydkaya N., Puzanov A. Geochemical landscape changes caused by the development of ore deposits // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 5, pp. 6–17. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-5-6-17.

Статья поступила в редакцию: 11.10.2018 г.
Статья принята к публикации: 20.05.2019 г.