ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(11-1):18-31
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 502.504 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-18-31

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ В ЗОНАХ ДОБЫЧИ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ НА СЕВЕРНОМ КАВКАЗЕ

И.Д. Алборов[1,2], О.Г. Бурдзиева[2], Ф.Г. Тедеева[1], М.В. Гегелашвили[1]

[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия;
[2] Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, Владикавказ, Россия

Аннотация: Приведена ретроспектива развития добычи цветных металлов в горной экосистеме Восточного Кавказа, показаны этапы роста экологической напряженности в различных составляющих биосферы региона. Доказано, что в районах дислокации действующих горных объектов ландшафты и почвы, являющиеся составной частью экосистем, отличаются ярко выраженной зональностью, каждой из которых присущи определенные компоненты, влияющие на формирование экологической ситуации. Проведенными исследованиями установлено, что загрязнение почвенного горизонта тяжелыми и токсичными металлами приводит к истощению и деградации природной среды, коренной трансформации ландшафта, заключающейся в его устойчивом разрушении. Показано, что экологическая техноемкость территории зависит от объема воздушного бассейна (в горных каньонах, ущельях достигает 200 метров по высоте от основания), совокупности водоемов водостоков, земельных площадей и запасов почв, массы представителей флоры и фауны; мощности потоков биохимического круговорота (скорость, масса газообмена, пополнение объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивность биоты). Сформированная в таких условиях экологическая ситуация нуждается в оздоровлении путем принятия специальных научно обоснованных организационных, технических и технологических мер по снижению экологической нагрузки на экосистему горных ландшафтов и восстановлению устойчивых форм ее функционирования. Приведенные результаты исследований могут быть полезными для природоохранных ведомств, проектных учреждений и действующих горнорудных предприятий по принятию необходимых природоохранных мер для обеспечения устойчивого развития, природно-технической системы в условиях горных ландшафтов Кавказа.

Ключевые слова: добыча полезных ископаемых, деградация ландшафта, тяжелые металлы, почвенный горизонт, экологическая техноемкость территорий, биосфера региона, компоненты биосферы, свойства ландшафта.

Для цитирования: *Алборов И.Д., Бурдзиева О.Г., Тедеева Ф.Г., Гегелашвили М.В.* Экологическая напряженность в зонах добычи цветных металлов на Северном Кавказе // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11-1. — С. 18–31. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-18-31.

© И.Д. Алборов, О.Г. Бурдзиева, Ф.Г. Тедеева, М.В. Гегелашвили. 2020.

Ecological stress in nonferrous metal mining regions in the North Caucasus

I.D. Alborov[1,2], O.G. Burdzieva[2], F.G. Tedeeva[1], M.V. Gegelashvili[1]

[1] North Caucasuian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia;

[2] Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russia

Abstract: The article provides a retrospective of the development of non-ferrous metals mining in the mountain ecosystem of the Eastern Caucasus, shows the stages of increasing environmental tension in various components of the biosphere of the region. It is proved that in the areas where active mountain objects are located, landscapes and soils that are an integral part of ecosystems differ in pronounced zoning, each of which has certain components that affect the formation of the ecological situation. The conducted research has established that contamination of the soil horizon with heavy and toxic metals leads to depletion and degradation of the natural environment, radical transformation of the landscape, which leads in fragments to its sustainable destruction. It is shown that the ecological technological capacity of the territory depends on the volume of the air basin (in mountain canyons, gorges reaches 200 meters in height from the base), the totality of reservoirs, drains, land areas and soil reserves, the mass of representatives of flora and fauna; the capacity of the biochemical cycle flows (speed, mass of gas exchange, replenishment of clean water, soil formation processes and biota productivity). The ecological situation formed in such conditions needs to be improved by taking special scientifically based: organizational, technical and technological measures to reduce the environmental burden on the ecosystem of mountain landscapes and restore sustainable forms of its functioning. The research results presented in the article can be useful for environmental agencies, design institutions and operating mining enterprises to take the necessary environmental measures to ensure the sustainable development of the natural and technical system in the conditions of mountain landscapes of the Caucasus.

Key words: mining, landscape degradation, heavy metals, soil horizon, ecological technology intensity of territories, biosphere of the region, components of the biosphere, landscape properties.

For citation: Alborov I.D., Burdzieva O.G., Tedeeva F.G., Gegelashvili M.V. Ecological stress in nonferrous metal mining regions in the North Caucasus. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(11-1):18-31. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-111-0-18-31.

История развития горного дела по добыче цветных металлов в горных ландшафтах Северного Кавказа

О богатстве горной части Большого Кавказа полезными ископаемыми было известно еще в глубокой древности. Первые сведения о серебряных рудах Садона относятся к X в. В начале XVII в. полезными ископаемыми Осетии заинтересовалось русское правительство, пославшее в 1628 г. в Алагирское ущелье для исследования руд Садона своих мастеров горного дела. Большой дефицит свинца для военных нужд заставил форсировать освоение Садонского месторождения, в 1643 г. из его руд была осуществлена выплавка серебра и свинца со сдачей всей продукции в казну [1].

В 1847 г. началось строительство дороги Алагир–Садон и свинцово-

серебряного завода в Алагире, заработавшего в 1853 г. До начала XX в. на Алагирском заводе из руды извлекали только свинец и серебро, а цинковая руда шла в отвалы и на заполнение пустот в шахте.

Производственные объекты рудника «Молибден» Тырныаузского вольфрамомолибденового комбината были введены в эксплуатацию в 1935 г., рудника Уруп — в 60-х годах XX века.

Применяемые на рудниках и карьерах традиционные технологии добычи и переработки руд характеризуются повышенной георазрушительной активностью и высокой загрязняемостью среды, в результате чего возникают устойчивая деградация природной экологической системы и потеря основных свойств биосферы. Именно поэтому дальнейшая деятельность горных объектов в таком режиме может привести к непредсказуемым последствиям в окружающей среде.

Физико-географическая и геолого-геохимическая характеристика территорий добычи цветных металлов. Садонский рудоносный регион

Район деятельности Садонских рудников расположен в горной части Северной Осетии и характеризуется средне-высокогорным рельефом с абсолютными отметками 1800—2800 м и относительными превышениями до 800—1600 м. Горы резко расчленены многочисленными реками и их притоками на ряд узких и длинных ущелий различных направлений. Наиболее протяженные ущелья имеют субмеридиональные направления и сформированы реками Ардон, Урух, Фиагдон — главными притоками реки Терек. Климатический режим и характер растительности в таких ущельях весьма изменчивы и тесно связаны с рельефом. Рельеф определяет также местные распределения теплового режима, режима увлажнения и направления воздушных потоков.

Долины рек Ардона и Фиагдона относятся к «Солнечным долинам» **с** характерным микроклиматом. В районе п. Унал и п. Фиагдон средняя температура самого теплого месяца (июля) и самого холодного (января) составляет +16°С и — 2°С соответственно. Годовое количество осадков составляет 300—400 мм с наибольшим выпадением летом и осенью. Зимы малоснежные с периодическим снеговым покровом около 10 см. Район характеризуется сильными долинными ветрами вверх по ущелью днем и обратно ночью.

В пределах долин выделяются два основных вида почв: полынно-разнотравные и склоновые горно-лесолуговые; бурые оподзоленные и перегнойно-карбонатные почвы. Сельское хозяйство в районе имеет профилирующее плодово-овощное и животноводческое направление. Здесь большая площадь занята яблонево-грушевыми садами, имеющими не только местное, но и промышленное значение. Среди овощных и зерновых сельскохозяйственных культур максимальным распространением пользуются картофель и кукуруза.

В поперечном профиле долина р. Ардон асимметрична. Левый берег крутой, ограничен скальными выходами осадочных пород средней коры и оползневыми отложениями горы Кион-Хох. По нему проходит автомобильная дорога Транскам, соединяющая Закавказье с Северным Кавказом. Правый берег представлен серией разноуровневых аккумулятивных цокольных речных террас. Все террасы сложены валунно-галечными отложениями с гравийно-песчанистым заполнителем и перекрыты слоем суглинка,

нередко лессовидного характера. В районе с. Н. Унал верхний слой почвы представлен черноземом мощностью от 0,2—0,3 до 0,4 м, на нижней террасе около моста через р. Ардон находится Унальское хвостохранилище, которое в 1984 г. введено в эксплуатацию. Расположено хвостохранилище в пойме левого берега р. Ардон в 0,5 км севернее Н. Унал и в 10—12 км северо-восточнее Мизурской обогатительной фабрики. Ложем хвостохранилища являются галечники р. Ардон, правый борт отделен от русла реки бетонной дамбой. Абсолютная отметка дна поймы реки составляет 873,3 м, а с. Н. Унал — 900 м над уровнем моря. Хвосты обогащения Мизурской обогатительной фабрики трубопроводным гидротранспортом поступают на хвостохранилище. Вся инфраструктура Садонского свинцово-цинкового комбината, включая селитебную зону, размещена в узкой долине реки Ардон. Коренные породы и отходы геологоразведочных работ автотранспортом одновременно вывозятся и складируются в пойме реки Ардон. Фиагдонское хвостохранилище функционирует с 1970 г. Оно расположено в узком, каньонообразном ущелье реки Ханикомдон, правом притоке р. Фиагдон на высоте 1250 м над уровнем моря. Имеет резко вытянутую форму, ограничено с обоих бортов скальными песчано-скальными и известняковыми выходами юры и мела. От долины реки Фиагдонское хвостохранилище отделено высокой насыпной дамбой, от с. Ст. Дзуарикау находится ниже по течению р. Ханикомдон примерно на 600 м. Селение расположено в пойме узкой долины ручья, по левому склону в 400—500 м проходит грунтовая дорога между Ханикомской штольней и Фиагдонской обогатительной фабрикой. Хвосты подавались трубопроводным гидротранспортом на хвостохранилище по двум ниткам.

Загрязнение литосферы микроэлементами

Одна из основных проблем охраны окружающей среды связана с количеством тяжелых металлов, накопившихся в почвах. В почву тяжелые металлы попадают в результате функционирования горнопромышленного комплекса.

Попадание металлов в почву происходит в результате экологически опасных технологических процессов производства, малой эффективности очистки газов, открытой перевозки руды с рудников на обогатительный комплекс, концентрата на металлургический передел, выноса пылевых фракций с поверхности хвостохранилища и свалок некондиционных руд, при неполной очистке шахтных стоков и стоков обогатительных фабрик, загрязнении атмосферного воздуха за счет удаляемого из рудников отработанного воздуха, выщелачивания рудных минералов на складах, отвалах, шламах и др.

Наиболее опасными загрязнителями окружающей среды являются ртуть, кадмий, свинец, мышьяк, хром, медь, никель, цинк, железо, сера. Среди всех химических загрязнений микроэлементы рассматриваются как имеющие особое экологическое, биологическое и здравоохранительное значение.

Характер поведения микроэлементов в почве весьма разнообразен. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов в почве несравненно больше, чем в других частях биосферы, и уровень загрязнения её особенно тяжелыми металлами практически остается неизменным в течение продолжительного периода.

По нашим данным, в почвах Садонского промышленного района присутствуют свинец, цинк, медь, кобальт,

стронций, молибден, кадмий, серебро, висмут, мышьяк, селен, марганец, хром, никель, таллий.

Рассматриваемая экосистема включает продолжительную промышленную разработку цветных металлов, поэтому применяемая технология позволяет использовать лишь небольшую часть (первые проценты) извлекаемой массы пород. Все остальное накапливается на поверхности в виде отвалов и шламов, являющихся потенциальными источниками загрязнения окружающей среды широким комплексом химических элементов. Под угрозой находятся селитебные зоны, расположенные в поле влияния горнопромышленного комплекса, участок сельскохозяйственного освоения с выращиванием плодовых и овощных культур, занятие скотоводством.

Напомним, что хвостохранилище в пойме р. Ардон, вблизи с. Нижний Унал, действует с 1984 г. и его площадь — Унальского хвостохранилища — занимает около 1,2 км^2. При этом до 40—50% его поверхности покрыто слоем воды, сухая часть (пляжная эона) является источником повышенного запыления окружающей среды и колеблется от 5 до 18 мг/м^3. Исследованиями установлено, что на территории поселка Нижний Унал содержание основных рудных элементов в почвах составили, %: свинец — 0,15, цинк — 0,4, медь — 0,1, и они приурочены к гумусовому горизонту почвы. Выявлены низкие содержания свинца и цинка в сезонных овощах (клубни картофеля) и высокие, превышающие ПДК — в многолетних плодовых культурах (яблоки, груши) [2].

Площади и интенсивность загрязнения почвы рудными элементами, превышающими ПДК в районе с. Нижний Унал, приведены в табл. 1.

Фоновые содержания рудных элементов соответствуют средним значениям аллювио-делювиальных образований в целом для Северной Осетии [3].

Тырныаузское вольфрамо-молибденовое месторождение Рудник «Молибден»

Производственные объекты рудника расположены на различных уровнях: обогатительная фабрика — 1350 м, быткомбинат и главная откаточная штольня — 2004 м, главный скарн — 2600 м, карьер Мукуланский — 2700 м. Особенностями рельефа являются также четко выраженные следы деятельности ледников, которые придали долинам рек своим движением корытообразную форму, известную под названием «троги». Результатом деятельности ледников являются и скалистые

Таблица 1

Площадь загрязнения и содержание рудных элементов (мг/кг) в почвах района с. Нижний Унал

The area of contamination and the contents of ore elements (mg/kg) in the soils of the district v. Nigniy Unal

Химический элемент	$C_ф$	$ПДК_п$	Площадь загрязнения %	С на площади загрязнения	Относ., $ПДК_п$	C_{max}	Относит. $ПДК_п$
Pb	47,5	200	45	460	2,3	1500	7,5
Zn	100	400	50	1200	3,0	2000	5,0
Cu	27	100	точечное	100	1,0	100	1,0
Ag	0,05	5	точечное	2	1,0	2	1,0

выступы на берегах рек. На участках речных долин, особенно в устьях рек, впадающих в реку Баксан, а также в Баксанском ущелье, встречаются мощные террасы, сложенные рыхлым обломочным материалом, являющимся результатом эрозионно-аккумулятивной деятельности ледников. Образование рыхлообломочного материала по дну и на склонах речных долин объясняется выветриванием горных пород. Причины образования террас и конусов выноса рыхлообломочного материала — селевые потоки на большинстве водотоков района.

Ветровой режим района определяется орографическими условиями и температурным режимом, на который влияет близость вечных снегов — ледников, поэтому преобладают местные горно-долинные ветры, отличающиеся суточной изменчивостью. Днем ветер дует снизу вверх — долинный ветер, ночью — в обратном направлении — горный ветер.

В районе рудника наблюдаются сильные боковые ветры со стороны Главного Кавказского хребта, спускающиеся в Баксанское ущелье по долине. Ветры носят характер горных фенов. Окружающая среда загрязняется пылевыми фракциями из мест их дислокации — обломочным материалом на террасах, отвалами вскрышных работ карьеров «Мукуланский» и «Высотный»; скоплением отвалов геологоразведочных работ и др. [3].

Ветровой режим характеризуется среднемноголетней повторяемостью по направлениям (табл. 2) и среднемноголетними скоростями ветра по направлениям (табл. 3).

Характеристика деятельности горных предприятий

Современный уровень антропогенной нагрузки на горные долины очень высок: распределение нагрузки по разным долинам Северного Кавказа крайне неравномерно. Наиболее напряженная экологическая ситуация сложилась в долинах рек Ардон, Баксан и Уруп, где функционируют горнопромышленные комплексы с развитой инфраструктурой.

Ландшафты и почвы, являющиеся составной частью рассматриваемых экосистем, отличаются большим разнообразием. В районах дислокации действующих горных объектов (Садонские рудники, рудники «Молибден» и Урупский) ярко выражена высотная зональность ландшафтов, каждой из которых присущи определенные компоненты (табл. 4), что существенно влияет на формирование экологической ситуации.

Гляциально-нивальная зона располагается выше снеговой линии и является областью накопления снега, который превращается в фирн и глетчерный лед. В этой зоне развито интенсивное физическое выветривание, в результате которого образуется обломочный материал.

Таблица 2

Повторяемость ветров по направлениям, %
Repeatability of wind directions, %

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
22, 8	43,8	2,2	1,7	12,2	15, 5	1,0	0, 8

Таблица 3

Среднемноголетняя скорость ветра по направлениям, м/с
Average annual wind speed in directions, m/s

С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
4,7	4,8	2,0	2,1	6,7	4,7	1,1	0,9

Таблица 4
Зональность ландшафтов
Zoning of landscapes

Зона	Пояс	Высота по пойме от уровня моря, м	Примечание
Гляциально-нивальная		Более 3500	Рудник «Молибден»
Горно-луговая	Субнивальный-альпийский	3000 — 3500	Рудник «Молибден»
	альпийский	2400 — 3000	Рудник «Молибден»
	субальпийский	1000 — 2500	Садон
Горно-степная		800 — 2000	Садон
Горно-лесная	Сосновых и березовых лесов	1600 — 2400	Садон
	Широколиственных лесов	750 — 1600	Уруп

В субнивальном поясе почвы маломощные, щебетовые, представляющие стадию образования горно-луговых почв.

В альпийских и субальпийских поясах большую роль играют эрозионные процессы и особенно химическое выветривание [4 — 6]. Днище котловин и нижние части склонов являются местом аккумуляции рыхлого обломочного материала, при горно-длинных ветрах его пылевидные фракции служат устойчивым источником запыления атмосферы.

Воздействие геофизических параметров ландшафта на качество окружающей среды

Северный Кавказ обладает разнообразными важнейшими стратегическими ресурсами для экономики РФ: полиметаллическими, гидроминеральными, гидроэнергетическими, курортно-рекреационными, туристическими, оздоровительными, естественных кормовых угодий и т.д. Период преимущественно экстенсивного развития региона нанес непоправимый урон природно-рекреационному и экологическому потенциалу, особенно ее горным территориям. Отсутствие стратегии развития горных территорий, особенно на Европейской части России, препятствует масштабному вовлечению природного потенциала горных экосистем в целях подъема общего благосостояния проживающего в этих местах населения. Решению указанных проблем горных территорий были посвящены различные симпозиумы, международные конференции, многочисленные статьи и публикации в периодической печати и в специальных научных изданиях. Однако по настоящее время экологические условия и экологическая обстановка в горной зоне Северного Кавказа, состояние экосистем горной зоны, особенно в зонах хозяйственной активности, не удовлетворяют требованиям устойчивого развития природной и технической среды. Площадь деградированных земель продолжает расти, несмотря на отсутствие добычи полезных ископаемых из-за продолжающейся деятельности ветхой бесхозной инфраструктуры в прошлом развитого горно-перерабатывающего комплекса. Выполнение работ в горной зоне ведется с серьезными нарушениями действующих нормативно строительных требований.

Анализ действующих нормативных правовых документов экологической направленности показал, что в них не отражены и, следовательно, не регламентированы природоохранные требования, соблюдение которых необходимо в горных экосистемах при осуществлении различного рода

хозяйственной деятельности: капитального строительства, прокладки транспортных коммуникаций, строительства энергетических объектов, проведения газовых коммуникаций, выполнения взрывных работ и т.п. Отсутствующие по настоящее время нормативно правовых основ учета специфических условий в экосистемах приводит к серьезным нарушениям и искажениям истинной ценности ресурсов горных зон, подрывает эстетическую и нравственную привлекательность первозданной природной среды. В сложившихся условиях крайне важно остановить процесс разрушительного использования горных территорий и ресурсов и принять научно обоснованные меры по сохранению потенциальных природных богатств с целью последующего вовлечения в согласованное взаимодействие с человеком и обеспечения устойчивого развития горных территорий. Биосфера выполняет регуляторные функции, и изъятие (привнесение) человеком каких-либо компонентов неизбежно ведет к трансформации или деградации экосистем. До сих пор не выработана единая методология оценки элементарных единиц биосферы, хотя предусматривается плата за природопользование, плата за загрязнение, штрафные санкции и т.д. Имеются лишь попытки отдельных исследователей охарактеризовать негативные воздействия производственно хозяйственной деятельности предприятий на благополучие составляющих экосистемы. Так, например, по мнению авторов [7, 8], изучение воздействия объектов техносферы на биосферу, в целом, должно осуществляться посредством оценки всех ее компонентов: гидросферы, атмосферы и геологической среды (с почвами). Первоначально целесообразно изучение следующих составляющих:

– существующая характеристика состояния окружающей среды в районе функционирования горного предприятия;

– виды, объемы и интенсивность имеющегося загрязнения окружающей среды в районе прямой и опосредованной деятельности горного предприятия;

– изменение параметров окружающей среды под воздействием горной промышленности; экологические и социальные последствия функционирования объекта горной промышленности. Авторы настоящей работы придерживаются выдвинутой концепции по обеспечению экологического благополучия в зоне деятельности горных предприятий. В то же время для более полной характеристики экологического благополучия территорий деятельности объектов техносферы предлагаются новые подходы, использование которых позволит давать комплексную оценку экологического благополучия экосистемы, включая здоровье человека [9—12]. Учитываемыми признаются геофизические и геохимические факторы природной среды, участвующие в формировании экологического благополучия локальной экосистемы [13, 14].

Согласно серии проб в меженный период (сентябрь 2015 г.), взятых в реке Фиагдон (ниже по течению в одном километре от места впадения Ханикомдона), содержание цинка в воде составило 7 ПДК, меди — 3,5 ПДК, марганца — 2 ПДК, железа — 4 ПДК, кадмия — 0,8 ПДК и свинца — 0,5 ПДК.

В атмосферном бассейне в зоне деятельности Унальского хвостохранилища в сухую погоду запыленность воздуха в селитебных зонах (с. Унал, с. Зинцар) достигает 1,8—3,6 мг/м^3. Непосредственно в 15—30 метрах от дамбы она в 15—50 раз превышает ПДК в воздухе населенных пунктов при горно-долинных ветрах, вызванных периодическими

порывистыми ветрами с почти 15-дневной повторяемостью. Такая картина развития запыленности воздуха с содержанием до 30% свободного кремнезема в составе пылевых проб была установлена авторами в результате проведенных химических анализов отобранных в этой зоне проб воздуха.

Для экологической оценки почвы в зоне деятельности Унальского хвостохранилища Садонского Свинцово-цинкового комбината были проведены специальные исследования почвенного горизонта. Для этого были пробурены шурфы с отбором проб почвы через 20 см по вертикали. Валовое содержание основных рудных элементов по вертикальному разрезу почвы до глубины 100 см с интервалом опробования 0,2 м показали стабильное (рис. 1), иногда резкое падение содержания тяжелых металлов с глубиной, что однозначно подтверждает техногенную природу выявленной аномалии. Установлено, что максимальное содержание свинца и цинка приурочено к верхним слоям почвенного разреза [7, 8], что подтверждает техногенное происхождение почвенного загрязнения этими элементами. Накопление тяжелых металлов в верхнем слое почвы способствует переходу подвижных форм в биологическое разнообразие, включая культурные растения: однолетние — картофель, капусту и многолетние — груши и яблоки [15].

Продолжительное неопределенное функционирование экологически негативных объектов вызывают в природной среде возмущения прямого и косвенного характера. В окружающей среде происходит непрерывная частичная трансформация загрязнителей в менее вредные, а также в еще более токсичные вещества. Одновременно идет и процесс их распределения, то есть разбавление в природной среде [15]. Во всех случаях техногенная нагрузка на биосферу отдельно взятого региона характеризуется совокупностью отдельных показателей негативного воздействия объектов техносферы и фоновой нагрузки, которая приходится на отдельно взятую территорию. Суммарная составляющая всех нагрузок не должна превышать экотехногенную емкость биосферы локальной экосистемы, количественно равной максимальной (предельно допустимой) нагрузке, которую может выдержать и переносить в течение длительного времени экосистема без нару-

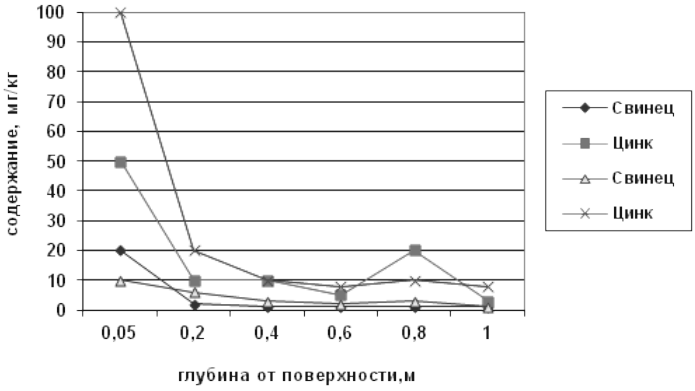

Рис. 1. Изменение содержания тяжелых металлов в почвенном профиле в зоне негативного воздействия Садонского СЦК

Fig. 1. changes in the content of heavy metals in the soil profile in the zone of negative impact of the Sadonsky CCS

шения структурных и функциональных свойств.

Исходя из того, что негативное воздействие действующего объекта на биосферу складывается преимущественно из совокупного негативного влияния его составляющих — воздействия на атмосферный воздух, на водную среду и на почву, — общий уровень загрязнения локальной экосистемы может определяться показателем загрязнения окружающей среды. Фактически происходит трансформация природного ландшафта в индустриально освоенный ландшафт. В зависимости от величины этого показателя экологический риск может быть четырех уровней [16, 17]. Вместе с тем всякая экосистема обладает определенным экологическим ресурсным потенциалом в виде восприятия различных форм возмущений без потери основных своих свойств и с сохранением устойчивости.

Экологическая емкость отдельно взятой территории зависит от следующих показателей: объема воздушного бассейна (в горных каньонах (ущельях) до 200 метров по высоте от основания), совокупности водоемов водостоков, земельных площадей и запасов почв, массы представителей флоры и фауны; мощности потоков биохимического круговорота (скорость, масса газообмена, пополнение объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивность биоты):

Совокупное воздействие объектов техносферы на геологическую среду сопровождается развитием отклонений в геосферах земли, и при превышении этой нагрузки на среду она вступает в напряженное состояние, а затем переходит в критическую устойчивую фазу деградации с разными периодами частичной ее реабилитации. Во всех случаях разрушения локальной экосистемы переход из одной стадии развития в другую характеризуется качественными изменениями в зависимости от получаемой нагрузки. Корректная оценка состояния экосистемы позволит принимать превентивные меры по стабилизации ее или замедлению негативных трансформаций природной среды. Только научно обоснованные предложения могут быть использованы как фрагментарно, так и масштабно на территории деградированных экологических систем, с получением ожидаемых результатов.

Процесс трансформации экосистемы в целом под действием техносферы схематично можно представить как последовательность определенных стадий (табл. 5).

Выводы

1. Установлено, что экологическое состояние окружающей природной среды зависит от расположения источников пылевого загрязнения и интенсивности эмиссии пыли в окружающую среду.

2. Показано, что загрязнение почвы микроэлементами имеет техногенную минерализацию.

3. Выявлено, что в районах дислокации действующих горных объектов ландшафты и почвы, являющиеся составной частью экосистем, отличаются ярко выраженной зональностью, каждой из которых присущи определенные компоненты, влияющие на формирование экологической ситуации.

4. Установлено, что на территории поселка Нижний Унал содержание рудных элементов в почвах достигает в процентах: свинец — 0,15, цинк — 0,4, медь — 0,1, и они приурочены к гумусовому горизонту почвы.

5. Выявлены низкие содержания свинца и цинка в сезонных овощах (клубни картофеля) и высокие, превы-

Таблица 5

Уровни разрушения природного ландшафта при воздействии техносферы
Levels of destruction of the natural landscape under the influence of the technosphere

Уровень деградации	Уровень общей нагрузки, превышение раз	Вид качественных изменений в экосистеме
Первая стадия (умеренная)	1,5 — 2	Выпадение индикаторных видов лишайников
Вторая стадия (напряженная)	2,7 — 4	Ухудшение состояния деревьев, уменьшение биоразнообразия
Третья стадия (катастрофическая)	6,0 — 7,0	Древесный ярус деградирован, отдельные породы деревьев гибнут. Сокращается плотность пернатых.
Четвертая стадия (коллапс)	10 и более	Древесный ярус почти разрушен. Разрыв круговорота биогеоценозов. Разрушение устойчивости как способности восстановления экосистемы

шающие ПДК — в многолетних плодовых культурах (яблоки, груши).

6. В горной части центральной части Северного Кавказа сосредоточены многомиллионные объемы отходов переработки полиметаллических руд, продуктов выщелачивания радиоактивных руд, включая породы проходческих работ и пустые породы горно-разведочных и горнопроходческих работ.

7. Геолого-геофизическая обстановка в локальных зонах дислокации отходов переработки руд цветных металлов и радиоактивных руд Северного Кавказа находится в напряженном экологическом состоянии.

8. Загрязнение почвенного горизонта тяжелыми и токсичными металлами приводит к истощению и деградации природной среды, коренной трансформации ландшафта, что фрагментарно влечет за собой его устойчивое разрушение.

9. Формирующаяся экологическая ситуация под влиянием техногенеза нуждается в принятии безотлагательных действий по ее оздоровлению путем принятия специальных научно обоснованных организационных, технических и технологических мер по снижению экологической нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. К 125-летию Садонских свинцово-цинковых рудников // Вопросы совершенствования горного производства (к 125-летию Садонских рудников). — Орджоникидзе. — 1968. — С. 3 — 16.

2. Оценка эколого-геохимической обстановки в районе деятельности Садонского свинцово цинкового комбината // Отчет МГУ за 1990 — 1991 гг. — М. — 120 с.

3. *Трубецкой К.Н.* Ресурсосберегающие технологии и их роль в экологии и рациональном природопользовании при освоении недр // Тезисы докл. Научно-технической конференции «Экологические проблемы горного производства». — М.: ИАЦГН, 1999. — С. 3 — 4.

4. *Алборов И.Д.*, *Заалишвили В.Б.*, *Тедеева Ф.Г. и др.* Экологический риск, принципы оценки окружающей природной среды и здоровья населения. — Владикавказ, 2013. — 347 с.

5. *Чаплыгин Н.Н.*, *Папичев В.И.* Горная экология в исследованиях ИПКОН // Горный вестник. — 1997. — №5. — С. 87—92.

6. *Алборов И.Д.*, *Тедеева Ф.Г.*, *Бурдзиева О.Г.* и др. Экологические аспекты функционирования экосферы с горноперерабатывающей составляющей // Сб. Трудов «Всероссийский съезд экологов». — Грозный. — 2017. — С. 19—23.

7. *Алборов И.Д.*, *Заалишвили В.Б.*, *Тедеева Ф.Г.* Патент РФ № 245 55 86 от 27.10.2012 г. Способ определения экологического риска при добыче полезных ископаемых.

8. *Гончаров В.И.*, *Глотов В.Е.*, *Гревцев А.В.* Экологические риски: масштабы их развития и способы предупреждения // Материалы V Международной конференции Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования. — Владикавказ. — 2004. — С. 193—201.

9. Boldt-*Burisch K.*, *Naeth M.A.*, *Schneider B.*, *Hüttl R.F.* Linkage between root systems of three pioneer plant species and soil nitrogen during early reclamation of a mine site in Lusatia, Germany. — Restoration Ecology. — 2015. — Vol. 23(4). — pp. 357—365. DOI: 10.1111/rec.12190.

10. *Prach K.*, *Karešová P.*, *Jírová A.*, *Dvoková H.*, *Konvalinková P.*, *Ehounková K.* Do not neglect surroundings in restoration of disturbed sites. — Restoration Ecology. — 2015. — Vol. 23(3). — pp. 310—314. DOI: 10.1111/rec.12189.

11. *Laarmann D.*, *Korjus H.*, *Sims A.*, *Kangur A.*, *Kiviste A.*, *Stanturf J.A.* Evaluation of afforestation development and natural colonization on a reclaimed mine site. Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(3). pp. 301—309. doi: 10.1111/rec.12187

12. *Kulik L.*, *Stemann H.* Ecology and biodiversity protection in the Rhenish lignite mining area. World of Mining — Surface & Underground. 2014. Vol. 66(3). pp. 143—152.

13. *Заалишвили В.Б.*, *Кранцфельд Я.Л.* Геофизическая основа инженерной сейсмозащиты ответственных объектов строительства // Геология и геофизика Юга России. — 2014. — № 1. — С. 39—50.

14. *Заалишвили В.Б.*, *Бурдзиева О.Г.*, *Закс Т.В.*, *Кануков А.С.* Информационный мониторинг распределённых физических полей в пределах урбанизированной территории // Геология и геофизика Юга России. — 2013. — № 4. — С. 8—16.

15. *Осипов В.И.* Концептуальные основы экологической политики//Сборник избранных статей и докладов 2-й Международной конференции «Безопасность и экология горных территорий». — Владикавказ. — 1995. — С. 4—11.

16. Практическое пособие к СП 11—101—95 по разработке раздела «Оценка воздействия на окружающую среду при обосновании инвестиций в строительствопредприятий, зданий и сооружений». — М.: ГП Центринвестпроект, 1998. — 55 с.

17. *Пучков Л.А.*, *Воробьев А.Е.* Человек и биосфера: вхождение в техносферу. — М.: МГГУ, — 2000. — 342 с. ГИАБ

REFERENCES

1. *K 125-letiyu Sadonskih svincovo-cinkovyh rudnikov. Voprosy sovershenstvovaniya gornogo proizvodstva (k 125-letiyu Sadonskih rudnikov)* [To the 125th anniversary of the Sadon lead and zinc mines.Issues of improving mining production (to the 125th anniversary of the Sadonsky mines)]. Ordzhonikidze. 1968. pp. 3—16. [In Russ]

2. *Ocenka ekologo-geohimicheskoj obstanovki v rajone deyatel'nosti Sadonskogo svincovo cinkovogo kombinata* [Assessment of the ecological and geochemical situation in the area of Sadonsky lead and zinc plant activity]. Otchet MGU za 1990—1991 gg. Moscow. 120 p. [In Russ]

3. Trubeckoj K.N. *Resursosberegayushchie tekhnologii i ih rol' v ekologii i racional'nom prirodopol'zovanii pri osvoenii nedr* [Resource-saving technologies and their role in ecology and rational nature management in the development of mineral resources]. Tezisy dokl.

Nauchno-tekhnicheskoj konferencii «Ekologicheskie problemy gornogo proizvodstva». Moscow: IACGN, 1999. pp. 3—4. [In Russ]

4. Alborov I.D., Zaalishvili V.B., Tedeeva F.G. i dr. *Ekologicheskij risk, principy ocenki okruzhayushchej prirodnoj sredy i zdorov'ya naseleniya* [Environmental risk, principles of environmental assessment and public health]. Vladikavkaz, 2013. 347 p. [In Russ]

5. Chaplygin N.N., Papichev V.I. Mining ecology in ipcon research. *Gornyj vestnik*. 1997. no. 5. pp. 87—92. [In Russ]

6. Alborov I.D., Tedeeva F.G., Burdzieva O.G. i dr. *Ekologicheskie aspekty funkcionirovaniya ekosfery s gornopererabatyvayushchej sostavlyayushchej* [Ecological aspects of the functioning of the ecosphere with a mining component]. Sb. Trudov «Vserossijskij s»ezd ekologov». Groznyj. 2017. pp. 19—23. [In Russ]

7. *Patent RF no. 245 55 86 ot 27.10.2012 g.* Alborov I.D., Zaalishvili V.B., Tedeeva F.G. Sposob opredeleniya ekologicheskogo riska pri dobyche poleznyh iskopaemyh. [In Russ]

8. Goncharov V.I., Glotov V.E., Grevcev A.V. *Ekologicheskie riski: masshtaby ih razvitiya i sposoby preduprezhdeniya* [Environmental risks: the scale of their development and ways of prevention]. Materialy V Mezhdunarodnoj konferencii Ustojchivoe razvitie gornyh territorij: problemy i perspektivy integracii nauki i obrazovaniya. Vladikavkaz. 2004. pp. 193—201. [In Russ]

9. Boldt-Burisch K., Naeth M.A., Schneider B., Hüttl R.F. Linkage between root systems of three pioneer plant species and soil nitrogen during early reclamation of a mine site in Lusatia, Germany. Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(4). pp. 357—365. DOI: 10.1111/rec.12190.

10. Prach K., Karešová P., Jírová A., Dvoková H., Konvalinková P., Ehounková K. Do not neglect surroundings in restoration of disturbed sites. Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(3). pp. 310—314. DOI: 10.1111/rec.12189.

11. Laarmann D., Korjus H., Sims A., Kangur A., Kiviste A., Stanturf J.A. Evaluation of afforestation development and natural colonization on a reclaimed mine site. Restoration Ecology. 2015. Vol. 23(3). pp. 301—309. doi: 10.1111/rec.12187.

12. Kulik L., Stemann H. Ecology and biodiversity protection in the Rhenish lignite mining area. World of Mining Surface & Underground. 2014. Vol. 66(3). pp. 143—152.

13. Zaalishvili V.B., Krancfel'd Ya.L. Geophysical basis of engineering seismic protection of responsible construction objects. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 2014. no. 1. pp. 39—50. [In Russ]

14. Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Information monitoring of distributed physical fields within the urbanized territory. *Geologiya i geofizika Yuga Rossii*. 2013. no. 4. pp. 8—16. [In Russ]

15. Osipov V.I. *Konceptual'nye osnovy ekologicheskoj politiki* [Conceptual foundations of environmental policy]. Sbornik izbrannyh statej i dokladov 2-j Mezhdunarodnoj konferencii «Bezopasnost' i ekologiya gornyh territorij». Vladikavkaz. 1995. pp. 4—11. [In Russ]

16. *Prakticheskoe posobie k SP 11—101—95 po razrabotke razdela «Ocenka vozdejstviya na okruzhayushchuyu sredu pri obosnovanii investicij v stroitel'stvopredpriyatij, zdanij i sooruzhenij»* [Practical guide to SP 11—101—95 on the development of the section "environmental impact Assessment when justifying investments in the construction of enterprises, buildings and structures"]. Moscow: GP Centrinvestproekt, 1998. 55 p. [In Russ]

17. Puchkov L.A., Vorob'ev A.E. *Chelovek i biosfera: vhozhdenie v tekhnosferu* [Man and the biosphere: entering the technosphere]. Moscow: MGGU, 2000. 342 p. [In Russ]

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Алборов Иван Давыдович[1,2] — докт. техн. наук, проф., зав.каф. экологии и техносферной безопасности; главный научн. сотрудник;

Бурдзиева Ольга Германовна[2] – канд. геогр. наук, ученый секретарь;
Тедеева Фатима Георгиевна[1] – канд. техн. наук, доцент кафедры экологии и техносферной безопасности;
Гегелашвили Михаил Владимирович[1] — докт. техн. наук, проф.
[1] Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 362021, Владикавказ, Россия;
[2] Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, 362002, Владикавказ, Россия.
Для контактов*:* Тедеева Фатима Георгиевна, e-mail:ekoskgmi@rambler.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Alborov I.D.[1,2]*,* Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Burdzieva O.G.[2]*,* Cand. Sci. (Geogr.),
Tedeeva F.G.[1]*,* Cand. Sci. (Eng.), Prof.
Gegelashvili M.V.[2]*,* Dr. Sci. (Eng.), Prof.
[1] North Caucasuian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia;
[2] Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russia, e-mail: ekokgmi@rambler.ru.

Получена редакцией 26.05.2020; получена после рецензии 31.08.2020; принята к печати 10.10.2020.
Received by the editors 26.05.2020; received after the review 31.08.2020; accepted for printing 10.10.2020.