

ОЦЕНКА МАСШТАБОВ И СТЕПЕНИ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИАГДОНСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА НА ЭКОСИСТЕМУ

А.Г. Гурбанов¹, А.Б. Лексин², В.М. Газеев³,
О.А. Гурбанова⁴, А.Б. Лолаев⁵, А.Х. Оганесян⁶, С.О. Дзэбоев⁷

Аннотация. Актуальность исследований: выявлены дополнительные доказательства необходимости комплексной утилизации захороненных промышленных отходов с предварительным извлечением из них экономически ценных, включая благородные и экологически опасные металлы; выявлена высокая степень загрязнения почвы в долине р. Хаником-дон.

Цель исследований: на основании геохимических данных определить масштабы и степень загрязнения почвы на территории, прилегающей к Фиагдонскому хвостохранилищу. В статье, на основании результатов геохимических исследований почв сельхозугодий (огородов) в поселениях Куыртат и Горный Дзуарикау и природных пастбищ (ПП), проведенных количественными методами (РФА и ICP MS), оценены степень и масштабы их загрязнения промышленными отходами, хранящимися в Фиагдонском хвостохранилище. Впервые приведены данные о содержании экономически ценных и экологически опасных элементов в почвах огородов и природных пастбищ и рассмотрена геохимическая роль почвообразующих аргиллитов нижнеюрского возраста в формировании почвы. Показано, что механизм загрязнения почвы обусловлен ветровой эрозией поверхностного слоя хвостохранилища, а затем и из катастрофических воронок на его поверхности. Кроме того, на основании результатов анализов, показавших резко повышенные содержания в аргиллитах базовых металлов (Fe, Cu, Zn, Ba, Pb, As), высказано предположение о наличии еще одного природного источника загрязнения почвы ПП – почвообразующих аргиллитов, так как в процессе длительного формирования в горных условиях почвы ПП они вполне могли обогатиться указанными выше базовыми металлами. Подчеркнуто, что наличие высоких концентраций базовых металлов в нижнеюрской аргиллитовой толще дало возможность предполагать, что эти металлы могли быть мобилизованы с помощью механизма «конвективной ячейки», согласно латераль-секреционной гипотезе, из черносланцевой толщи аргиллитов с формированием промышленно значимых рудных жильных тел полиметаллических месторождений Кадат и Какадур.

Ключевые слова: Фиагдонское хвостохранилище, содержания макро- и микроэлементов, загрязнение почвы природных пастбищ и сельхозугодий (огородов), тяжелые металлы.

ВВЕДЕНИЕ

Большая масса промышленных отходов, накопленная в Фиагдонском хвостохранилище, является крупномасштабным источником постоянного загрязнения окружающей среды (гидросферы, литосферы и биосферы), осуществляющимся путем водного и воздушного разноса различных микрокомпонентов на значительные расстояния [1]. Целью запланированных исследований являлось установление масштабов и степени загрязнения почв огородов и природных пастбищ, что негативно сказывается на живых организмах, в том числе и

на человеке [9]. Известно, что загрязненная среда обитания оказывает как токсическое (легко определяемое), так и генетическое влияние на живые организмы, которое выявить весьма сложно, а его последствия обычно проявляются через длительный промежуток времени. Среди поллютантов важная роль принадлежит тяжелым металлам (ТМ), что объясняется их широким применением в промышленности и наличием многочисленных путей поступления в окружающую среду и в организм человека. Особую проблему создает малая подвижность ТМ в биогеоценозах, обусловленная их плохой растворимостью. ТМ, попавшие в окружающую среду,

¹ Гурбанов Анатолий Георгиевич – к. г.-м. н., в. н. с. ИГЕМ РАН, г. Москва, в. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ.

² Газеев Виктор Магалымович – к. г.-м. н., с. н. с. КНИО ВНЦ РАН г. Владикавказ, н. с. ИГЕМ РАН, г. Москва.

³ Лексин Алексей Борисович – сотрудник лаборатории «Геоинформатики», ИГЕМ РАН, г. Москва (lexin@igem.ru).

⁴ Гурбанова Ольга Александровна – к. х. н., ассистент, геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова (gur_o@mail.ru).

⁵ Лолаев Алан Батразович – д. т. н., профессор, зав. каф. СОГУ им. К.Л. Хетагурова, г. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ (abl-2010@mail.ru).

⁶ Оганесян Александр Хачатурович – к. т. н., доцент ФГБОУ СКГМИ (ГТУ), с. н. с. КНИО ВНЦ РАН, г. Владикавказ (alexhoganesyan1984@mail.ru).

⁷ Дзэбоев Станислав Олегович – инженер ООО «НПО Геоинжиниринг», г. Владикавказ (stanislav.dzaboev@mail.ru).

формируют стойкие соединения, которые практически не выводятся из биогеоценозов и постепенно накапливаются в природных объектах, и со временем могут достигать опасных концентраций даже при незначительных уровнях их поступления.

По информации от местных жителей и нашим визуальным наблюдениям было установлено, что тонкодисперсный материал с поверхности хвостохранилища, в виде пылевых облаков, переносится постоянно дующими вдоль долины р. Хаником-дон ветрами на сельхозугодья двух поселений и природные пастбища прилегающих территорий. На основании полученных данных [7] в поверхностном (~ 0.3 м) слое захороненных в хвостохранилище промышленных отходов рассчитаны следующие средние содержания (оксиды и сера в масс. %, а элементы в г/т) ряда металлов: $\text{CaO} = 2.34$; $\text{TiO}_2 = 0.66$; $\text{MnO} = 0.066$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5.18$; $\text{P}_2\text{O}_5 = 0.125$; $\text{S} = 4.42$; $\text{Cr} = 94.4$; $\text{V} = 88.9$; $\text{Co} = 7.9$; $\text{Ni} = 26.6$; **Cu** = 237.8; **Zn** = 851.4; $\text{Rb} = 144.7$; $\text{Sr} = 53.1$; $\text{Zr} = 155.8$; $\text{Ba} = 323.5$; **Th** = 10.8; $\text{Y} = 11.7$; $\text{Nb} = 10.1$; **Pb** = 2 493.9; **As** = 1 308.2. Важно подчеркнуть, что максимальные концентрации экологически опасных и экономически ценных элементов установлены в тонкодисперсной (глинистой) фракции.

Техногенная пыль, образовавшаяся при ветровой эрозии тонкодисперсной фракции с пляжной части до его рекультивации, а после рекультивации выносимая из поверхностного слоя и провалов площадью до 300 м², образовавшихся в результате катастрофических ливней 2009 и 2012 гг. на поверхности хвостохранилища, может быть не только пассивной, но и активной, образующей в почвах подвижные минеральные формы. Подавляющее большинство горных предприятий является источниками пассивной пыли, распространение которой происходит за счет переноса воздушными массами. Но при попадании такой пыли на почву, имеющую слабо- и среднекислотную реакцию, может происходить выщелачивание из нее металлов с последующей их миграцией. В связи с этим ниже приведена краткая характеристика почв в изучаемом районе.

Типизация почв в рассматриваемом районе обусловлена, с одной стороны, вертикальной климатической зональностью, а с другой – составом почвообразующих горных пород. Для межгорной депрессии, в которой расположено хвостохранилище, наиболее характерны горные лугово-степные почвы. Климат, в условиях которого они формируются, отличается сухостью; растительность изреженная ксерофитная. Почвы отличаются пониженным содержанием гумуса и высокой основностью, что связано с преобладанием делювия известняков в подстилающих почвообразующих породах. На этих почвах издавна выращиваются картофель, овощи и садовые культуры. Интенсивно проявляется эрозия, обусловленная низкой плотностью дернины и нерегулируемым выпасом скота. На южных склонах Скалистого хребта, то есть непо-

средственно по северной границе хвостохранилища, спорадически распространены горно-луговые черноземновидные почвы, характеризующиеся слабокислой реакцией, сравнительно высоким содержанием гумуса и прочной зернистой структурой. Эти почвы используются в основном под сенокосы и пастбища. На высотах 1 800–2 000 м, то есть по периферии зон влияния хвостохранилища, преобладают горно-луговые почвы, формирующиеся под луговой растительностью и отличающиеся кислой реакцией, высоким содержанием гумуса в самом верхнем слое. Таким образом, в зонах влияния хвостохранилища находятся достаточно ценные в масштабах республики ресурсы – почвы, благоприятные для развития скотоводства, огородничества, садоводства, пчеловодства.

Необходимо отметить наличие следующих физико-географических особенностей долины р. Хаником-дон: а) узкая каньонообразная форма, с крутым (45–50°) левым и относительно пологим правым бортом; б) постоянно дующие вверх и вниз вдоль долины сильные (скорость от 2 до 6–7 м/сек) ветрами; в) большая площадь водосбора; г) расположение Фиагдонского хвостохранилища, с повышенным содержанием тяжелых металлов, в пойме реки (течет под хвостохранилищем по тоннелю в скалах и искусственной галерее); д) расположение поселений Куыртат и Горный Дзуарикау с большими (по занимаемым площадям) огородами, фруктовыми садами и природными пастбищами. Полученная продукция (овощи, фрукты, молоко, сыр, мясо) постоянно используется в пищу местным населением и сезонно продается на рынке в пос. Верхний Фиагдон многочисленным отдыхающим. Приведенные выше особенности долины р. Хаником-дон должны были способствовать загрязнению экологически опасными элементами из хвостохранилища почв прилегающих территорий, чем и была обусловлена необходимость представления подробной информации о Фиагдонском хвостохранилище по [5, 6, 7]. При этом следует учитывать, что промышленные отходы, содержащие тяжелые металлы (ТМ), являются опасными и постоянными загрязнителями окружающей среды и что многие из ТМ могут передвигаться по пищевым цепям и таким путем оказываться и накапливаться в организме человека. Этот процесс опасен тем, что ТМ вызывают целый ряд заболеваний, в том числе и онкологические, а в связи с тем, что ТМ практически не выводятся из биогеоценозов, возникает необходимость искать методы их извлечения и полной утилизации, что благотворно отразится на здоровье населения на прилегающей территории [5].

Хвостохранилище Фиагдонской обогатительной фабрики (ФОФ) расположено в пойме р. Хаником-дон (правый приток р. Фиагдон, в 2,5 км к северу от пос. Верхний Фиагдон). В северо-восточной части хвостохранилища ФОФ р. Хаником-дон стекает в тоннель сечением около 9 м², длиной 787 м, из которых 684 м пройдены в скальных породах, а 103



2010 г.

Рис. 1. Летом 2010 года, после паводка, вызванного сильными ливнями 12–13 августа, началось разрушение тоннеля, по которому р. Хаником-дон отводится от хвостохранилища (фото геологической партии ЭГП ГУП «Севосетингеозэкомониторинг»)

м со стороны выходного портала выполнено в форме галереи по дну хвостохранилища. Сечение водоотводного тоннеля принято из расчета пропуска максимального расхода р. Хаником-дон. Однако в 2010 г., после паводка, вызванного сильными ливнями 12–13 августа, началось разрушение тоннеля, по которому р. Хаником-дон отводится от хвостохранилища (рис. 1). В 2012 г. в течение пяти дней (15–19 июня) выпало более двух месячных норм осадков, что вызвало формирование крупного паводка по реке Хаником-дон и резко увеличило поверхностный сток по нижнему уступу плотины. Это привело к обрушению перемычки между верхним и нижним порталами. Общая протяженность провала достигла 75 м (рис. 2). В итоге было вынесено в р. Фиагдон и далее в р. Терек 60–70 тыс. м³ насыпных грунтов и хвостов, что привело к загрязнению вод и донных осадков экологически опасными элементами не только р. Фиагдон, но и р. Терек на территориях РСО-А, Чеченской и Дагестанской республик, включая и дельту р. Терек в Каспийском море.

Из анализа фотоматериалов, полученных при съемке 20.08.2012 г. партией ЭГП ГУП «Севосетингеозэкомониторинг», сделан вывод о том, что

за 2 месяца произошло значительное вымывание и обрушение тела плотины, в котором грунты имеют высокое содержание экологически опасных элементов. Скорее всего, причиной вымывания является значительный поверхностный сток с поверхности хвостохранилища, созданный интенсивными атмосферными осадками.

Фиагдонское хвостохранилище (рис. 3) введено в эксплуатацию в 1970 г. Расположено оно в пойме р. Хаником-дон на высоте 1 250 м над уровнем моря в узкой, каньонобразной долине. Оно имеет вытянутую в широтном направлении V-образную

форму и ограничено с северного и южного бортов скальными выходами песчано-сланцевых и известняковых толщ ранне-позднеюрского возрастов. От долины р. Фиагдон хвостохранилище отделено высокой насыпной дамбой. Площадь хвостохранилища около 56 000 м². Его длина вдоль долины – до 800 м при ширине от 50 и до 200 м. По данным ФОФ, в хвостохранилище захоронено 2,4 млн тонн промышленных отходов с содержаниями (в масс. %) базовых металлов: **Pb** – 0,19, запасы – 4 560 т; **Zn** – 0,36, запасы – 8 400 т; **Cu** – 0,12, запасы – 2



Рис. 2. В 2012 году, в течение пяти дней (с 15 по 19 июня) выпало более двух месячных норм осадков, что вызвало формирование крупного паводка по р. Хаником-дон и резко увеличило поверхностный сток по нижнему уступу плотины (фото геологической партии ЭГП ГУП «Севосетингеозэкомониторинг»)



Рис. 3. Схема расположения Фиагдонского хвостохранилища и устьев скважин и мест отбора проб почв [5]

880 т; **Fe** – 6,8, запасы – 163 200 т; **Ti** – 0,16, запасы – 3 840 т; **Mn** – 0,14, запасы – 3 360 т; **Ag** – 4,0 г/т, запасы – 9,6 т [3]. Из рудных минералов в промышленных отходах выявлены: сфалерит, галенит, халькопирит, пирит, арсенопирит, титаномагнетит и реже барит. Мероприятия по рекультивации и контролю над сохранностью защитного почвенно-растительного слоя рекультивации хвостохранилища не проводятся с момента его закрытия в 2003 г. [2].

МЕТОДИКИ ОТБОРА ПРОБ И МЕТОДЫ ИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выборе методики опробования почв учитывалось, что степень загрязнения пастбищ и сельскохозяйственных земель может зависеть от следующих факторов: 1 – от силы и скорости ветров, дующих утром и днем – вверх по долине, а вечером и ночью – вниз по долине; 2 – от размерности нерекультивированных промышленных отходов, залегающих непосредственно на поверхности хвостохранилища или обнажившихся в катастрофических провалах и промоинах (рис. 1 и 2). При этом учитывалось, что особую опасность представляет токсичная пыль с пляжной части хвостохранилища и из провалов. Общая площадь поверхности, подвергаемой ветровой эрозии и порождающей возникновение туч токсичной пыли, составляет порядка 56 000 м².

Пыль оседает на территории поселений, в поймах рр. Хаником-дон и Фиагдон, на огородах и на правом склоне долины р. Хаником-дон, используемом под естественные пастбища. Эмпирически установлено, что при скорости ветра 5 м/сек начинается интенсивный разнос сухой пыли с поверхности, а при 8 м/с этот процесс резко усиливается [10, 11]. Интенсивность выдувания и разноса пыли зависит от формы долины реки, от конструкции бортов хвостохранилища и наличия на его поверхности нарушений слоя рекультивации и степени их защищенности рельефом местности и растительностью (в верховьях долины р. Хаником-дон на ее склонах растут ольха и орешник).

Для оценки степени и масштабов загрязнения почв ПП и огородов, примыкающих к хвостохранилищу, были отобраны четыре фоновые пробы «ФП», расположенные на значительном удалении от хвостохранилища: ФП-1 –

истоки р. Хаником-дон ниже перевала по дороге в сторону пос. Фазикау в долине р. Мидаграбин-дон; ФП-2 – в 4 км ниже по дороге от пробы ФП-1; ФП-3 – проба почв на склоне в 1 км не доезжая до пос. Кармадон; ФП-4 – проба почв в 500 м восточнее пос. Кармадон.

В ходе исследований были проанализированы особенности рельефа в районах хвостохранилища и прилегающих к нему ПП и огородов пос. Куыр-тат и Горный Дзуарикау и геологическое строение района. С учетом полученной информации были намечены места отбора проб почв на природных пастбищах (ПП), огородах двух поселений и слоя рекультивации на хвостохранилище. Все пробы отбирались на глубине 0,2 м. В итоге были взяты представительные пробы из почвенно-растительного слоя (огороды, природные пастбища).

Подготовка проб для анализов. Каждая проба и дубликат к ней весом не менее 100 г упаковывались в двойной полиэтиленовый пакет для длительного хранения, чтобы избежать разложения возможных вторичных (гипергенных) водосодержащих минералов.

Пробы высушивались в муфельных печах при температуре 50° С. Затем делалась отквартовка весом по 20 грамм из каждой пробы, достаточная для всех видов аналитических исследований. После

этого все отквартованные части проб дробились и истирались до размера 100 меш.

Остатки всех проб, после отквартовки из них необходимой для производства анализов части, сохранялись в герметичных полиэтиленовых пакетах (дубликаты) для возможных повторных или последующих аналитических исследований.

Аналитические исследования выполнялись в ЦКП «ИГЕМ-АНАЛИТИКА». Анализ химического состава проб и определения содержаний ряда элементов (включая базовые для ФОФ) выполнен методом рентгено-флуоресцентной спектрометрии (РФА) на спектрометре последовательного действия PW-2400 производства компании Philips Analytical B.V. (Нидерланды, 1997). При калибровке спектрометра использованы отраслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород и минерального сырья (14 ОСО, 56 ГСО).

Качество результатов соответствует требованиям III категории точности количественного анализа по ОСТ РФ 41-08-205-99.

Подготовка препаратов для анализа породообразующих элементов выполнена путем плавления 0.3 г порошка пробы с 3 г тетрабората лития в индукционной печи с последующим отливом гомогенного стеклообразного диска.

Подготовка препаратов для анализа микроэлементов выполнена путем прессования 1 грамма порошка пробы с полистиролом под давлением 5 т/см².

Потери при прокаливании (LOI) определялись гравиметрическим способом. Время выдержки при температуре 950° С – 30 мин.

Расширенный элементный анализ проб почвообразующих аргиллитов проводился атомно- (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) и масс-спектральными методами с индуктивно связанной плазмой ICP-MS (X-7, Thermo Elemental, США) в Аналитическом сертификационном испытательном центре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) с использованием стандартного образца производства High-Purity Standards (США). Разложение проб проводилось в открытой системе

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В статье рассмотрены впервые полученные количественными методами (РФА и ICP MS) результаты геохимических исследований почв природных пастбищ (ПП), огородов, слоя рекультивации (табл. 1) и почвообразующих нижнеюрских аргиллитов (табл. 2).

Рассмотрим сначала геохимические особенности почв огородов, в зависимости от их удаленности от эскарпа верхнеюрских известняков (оксиды и сера) и от хвостохранилища (микроэлементы). В

двух поселениях максимальные содержания СаО, P₂O₅, S установлены только в почвах тех огородов, которые расположены ближе других (пробы О-1 и О-5) к эскарпу известняков. Установлено, что в почвах огородов, по мере удаления от хвостохранилища, происходит снижение концентраций (в г/т) находящихся в них базовых металлов: Zn – с 451 до 411; Pb – с 632 до 582; As – с 307 до 258. Эта же тенденция слабо выражена для: Cu – с 69 до 61; Ba – с 567 до 521; Zr – с 271 до 254. Для остальных элементов четко выраженной закономерности в снижении их концентраций не наблюдается.

Для оценки степени и масштаба загрязнения почв огородов рядом элементов проведен сравнительный анализ их средних содержаний со средними содержаниями этих же элементов в фоновых пробах почв природных пастбищ. Приводим средние содержания (оксиды и S – в масс. %; элементы в г/т; здесь и далее в следующем порядке: огороды – ФП-1+2 – ФП-3-4): СаО = 1.45 – 4.7 – 5.9 (повышенные концентрации СаО в ФП обусловлены тем, что они расположены в 0.5 и 0.3 км от эскарпа известняков), соответственно; P₂O₅ = 0.36 – 0.25 – 0.24 (такая картина может быть обусловлена внесением фосфатных удобрений в почву огородов); S = 0.28 – 0.11 – 0.125; Zn = 430 – 150 – 144; Pb = 598 – 59 – 52; Ba = 543 – 398 – 383; Zr = 263 – 246 – 234; Rb = 120 – 91 – 90; Cu = 64 – 62 – 60. Следовательно, загрязнение Zn, по сравнению с фоновыми пробами, увеличилось в 2.86 и в 2.98 раза, соответственно; Pb – в 10.1 и в 11.5 раза; Ba – в 1.36 и в 1.4 раза; Zr – в 1.07 и в 1.12 раза; Rb – в 1.3 и в 1.3 раза; Cu – в 1.03 и в 1.07 раза. Масштаб загрязнения оценивается, исходя из полученных данных (табл. 1) на протяжении 7 км, т. е. вдоль всей долины р. Хаником-дон.

В почвах ПП установлены следующие вариации содержаний (в г/т) базовых металлов (табл. 1): Cu – с 47 до 42; Zn – с 228 до 219; Ba – с 472 до 453; Pb – со 156 до 145; As – с 38 до 27. Выявленная закономерность в снижении содержаний базовых металлов, по мере удаления от Фиагдонского хвостохранилища (ФХ), однозначно свидетельствует о негативном воздействии захороненных хвостов на почвы прилегающих ПП. Для оценки степени и масштаба загрязнения почв ПП рядом элементов проведен сравнительный анализ их средних содержаний со средними содержаниями этих же элементов в фоновых пробах почв ПП. Приводим средние содержания (оксиды и S – в масс. %; элементы в г/т; здесь и далее в следующем порядке: ПП – ФП-1+2 – ФП-3-4): СаО = 2.16 – 4.7 – 5.9 (повышенные концентрации СаО в ФП обусловлены тем, что они расположены в 0.5 и 0.3 км от эскарпа известняков, а на склонах долины много обломков известняков и доломитов), соответственно; P₂O₅ = 0.52 – 0.25 – 0.24; S = 0.29 – 0.11 – 0.125; TiO₂ = 0.91 – 1.06 – 1.03; MnO = 0.096 – 0.13 – 0.128; Fe₂O₃ = 7.06 – 8.03 – 7.97; Cr = 128 – 137 – 141; V = 118 – 136 – 143; Co = 22 – 26 – 25; Ni = 62 – 76 – 72; Cu =

Таблица № 1
 Результаты определения содержания макро- (в масс. %) и микроэлементов (в г/г) методом РФА в почвах огородов, природных пастбищ, слое рекультивации поверхности хвостохранилища и в фоновых пробах

	CaO (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	Cr (ppm)	V (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
O-1	1.65	0.94	0.123	7.93	0.39	0.31	117	111	18	50	69	411	120	91	254	567	585	258
O-2	1.35	0.93	0.119	8.05	0.35	0.26	127	112	19	52	62	421	119	87	262	523	632	307
O-3	1.37	0.98	0.118	8.25	0.35	0.28	118	119	19	50	65	447	123	88	271	548	587	299
O-4	1.42	0.92	0.121	8.09	0.34	0.29	115	110	20	51	64	451	118	90	257	559	615	267
O-5	1.58	0.94	0.119	8.18	0.37	0.30	119	117	17	49	61	417	121	87	270	542	582	294
O-6	1.36	0.97	0.116	7.96	0.36	0.25	125	120	18	50	63	432	119	89	264	521	591	251
Среднее	1.455	0.946	0.119	8.076	0.36	0.28	121	114.8	18.5	50.3	64	429.8	120	88.7	263	543.3	598.6	279.3
ПП-1	2.23	0.92	0.098	7.10	0.53	0.30	130	118	20	60	42	226	107	110	256	469	153	37
ПП-2	2.12	0.93	0.098	7.11	0.49	0.27	125	121	23	63	44	219	109	110	262	472	147	28
ПП-3	2.12	0.91	0.095	6.99	0.53	0.30	135	115	24	61	45	223	106	109	255	456	150	31
ПП-4	2.19	0.89	0.097	7.09	0.54	0.31	130	117	22	64	43	221	105	110	259	470	145	30
ПП-5	2.21	0.92	0.093	7.01	0.51	0.29	127	116	25	61	42	228	108	111	261	453	156	27
ПП-6	2.10	0.91	0.096	7.08	0.50	0.30	123	120	21	62	47	219	110	109	253	465	151	38
Среднее	2.16	0.91	0.096	7.06	0.516	0.295	128.3	117.8	22.5	61.8	43.8	222.6	107.5	109.8	257.6	464.1	150.3	31.8
ФП-1	1.97	0.75	0.147	13.22	0.52	2.72	132	81	28	57	198	1425	134	117	185	501	2494	1083
ФП-2	1.98	0.81	0.149	15.44	0.45	2.58	209	80	23	81	233	1588	146	140	191	484	2875	1347
ФП-3	0.20	0.80	0.045	19.35	0.29	4.65	137	76	4	39	237	435	164	124	183	429	4862	2177
ФП-4	2.04	0.82	0.143	14.51	0.48	2.83	141	79	26	62	231	1464	147	135	187	472	2815	1511
Среднее	1.547	0.795	0.122	15.63	0.435	3.195	154.7	79	20.3	59.8	224.8	1228	147.8	129	186.5	471.5	3261.5	1529.5
ФП-1	4.71	1.06	0.134	8.35	0.25	0.11	130	138	27	76	63	153	92	189	248	388	61	80
ФП-2	4.83	1.05	0.129	8.27	0.25	0.11	144	134	25	76	62	148	91	188	245	409	58	84
Среднее	4.77	1.055	0.131	8.31	0.25	0.11	137	136	26	76	62.5	150.5	91.5	188.5	246.5	398.5	59.5	82
ФП-3	6.09	1.03	0.128	7.83	0.25	0.13	137	158	23	70	60	143	89	205	236	390	53	76
ФП-4	5.75	1.04	0.129	8.12	0.24	0.12	144	128	27	75	61	145	91	197	233	376	51	76
Среднее	5.92	1.035	0.128	7.97	0.245	0.125	140.5	143	25	72.5	60.5	144	90	201	234.5	383	52	76

Примечание: пос. Куыртат (О-1, 2, 3) и Горный Дуэрикау (О-4, 5, 6) – огороды у домов; ПП – природные пастбища в правом борту долины р. Ханком-дон – ПП-1, 2, 3 отобраны через каждые 300 м вверх по долине от пос. Куыртат и пробы ПП-4, 5, 6 отобраны через каждые 300 м вверх по долине от пос. Горный Дуэрикау; ФП – слой рекультивации хвостохранилища – пробы ФП-1, 2, 3, 4 отобраны через каждые 200 м от западного края хвостохранилища до его восточного края соответственно; ФП – фоновые пробы; ФП-1 – истоки р. Ханком-дон ниже перевала по дороге в сторону долины р. Мидварбин-дон; ФП-2 в 4 км ниже по дороге от пробы ФП-1 к пос. Фазыкау; ФП-3 – проба почв на склоне в 1 км не доезжая до пос. Кармадон; ФП-4 – проба почв в 500 м восточнее пос. Кармадон.

Таблица 2

Результаты определения содержания макро- (в масс. %) методом РФА и микроэлементов (в г/т) методом ICP MS в пробах почвообразующих аргиллитов

	CaO (%)	TiO ₂ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	P ₂ O ₅ (%)	S (%)	Cr (ppm)	V (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Rb (ppm)	Sr (ppm)	Zr (ppm)	Ba (ppm)	Pb (ppm)	As (ppm)
1/19	0.54	0.89	0.058	5.9	0.22	0.032	83.9	143	13.5	40.3	34.1	108	121	119	191	362	59.8	23
10/19	0.45	0.90	0.071	7.3	0.22	0.046	89.1	150	16.7	48.2	37.6	132	132	76.7	179	445	44.6	33
Среднее	0.495	0.895	0.065	6.6	0.22	0.039	86.5	146.5	15.1	44.25	35.85	120	126.5	97.85	185	403.5	52.2	28

Примечание: 1/19 - аргиллиты, коренной выход в истоках р. Хаником-дон.; 10/19 - аргиллиты из коренного выхода ниже сторожевой башни на аллювиальном уровне ФХ.

44 – 63 – 61; **Zn = 223 – 150 – 144**; **Rb = 107 – 92 – 90**; Sr = 110 – 189 – 201; Zr = 258 – 247 – 234; **Pb = 150 – 59 – 52**; **Ba = 464 – 398 – 383**; As = 32 – 82 – 76. Следовательно, загрязнение P_2O_5 , по сравнению с фоновыми пробами, в 2.08 и в 2.17 раза выше, соответственно; **S – в 2.64 и в 2.32 раза выше**; **Zn – в 1.49 и в 1.55 раза выше**; **Rb – в 1.16 и в 1.19 раза выше**; Zr – в 1.04 и в 1.1 раза выше; **Pb – в 2.5 и в 2.9 раза выше**; Ba – в 1.17 и в 1.2 раза выше средних значений фоновых проб, соответственно. Масштаб загрязнения оценивается, исходя из полученных данных (табл. 1) на протяжении 7 км, т. е. вдоль всей долины р. Хаником-дон. Средние содержания остальных оксидов и микроэлементов этих же элементов в фоновых пробах оказались выше средних содержаний в почвах ПП.

Теперь рассмотрим геохимические особенности слоя рекультивации ФХ. В нем содержания (оксиды и сера в масс. %, а элементы – в г/т) варьируют в следующих пределах: CaO – с 1.97 до 2.04; TiO₂ – с 0.75 до 0.82; MnO – с 0.045 до 0.149; Fe₂O₃ – с 13.22 до 19.35; P₂O₅ – с 0.29 до 0.52; S – с 2.58 до 4.65; Cr – с 132 до 209; V – с 76 до 81; Co – с 23 до 28; Ni – с 39 до 81; Cu – с 198 до 237; Zn – с 435 до 1588; Rb – с 134 до 164; Sr – с 134 до 164; Zr – с 117 до 140; Ba – с 429 до 501; Pb – с 2 494 до 4 862; As – с 1 083 до 2 177. Анализ полученных данных показал, что: а) характер распределения величин содержаний микроэлементов в СР неравномерный; б) величины средних содержаний микроэлементов в СР значительно превышают таковые в почвах огородов и ПП. Кроме того, выявлены необычные данные, заключающиеся в том, что в СР величины средних содержаний (оксид и S в масс. %, элементы – в г/т) Fe₂O₃, S, Pb, As значительно выше таковых, чем в захороненных хвостах ФОФ (15.6 – 8.6; 3.19 – 2.6; 3 261 – 27 094; 1 529 – 1 114, соответственно), что требует дополнительных исследований и объяснения этого феномена.

Важные, на наш взгляд, геохимические данные получены по почвам фоновых проб. Они за-

ключаются в том, что, несмотря на то, что ФП-1 и 2 отбирались на значительном удалении от ФХ (за пределами установленной зоны его воздействия на экосистему прилегающей территории), а ФП-3 и 4 отбирались на 15 км еще восточнее в долине р. Геналдон, в них выявлены высокие содержания базовых металлов: Fe₂O₃ масс. % = 8.3 (среднее по ФП 1+2) – 7.9 (среднее по ФП 3+4) – здесь и далее; S = 0.11 – 0.12 масс. %; Cu = 62 – 60 г/т; Zn = 150 – 144; Ba = 398 – 383; Pb = 59 – 52; As = 82 – 76, по сравнению с ФП для Унальского хвостохранилища [4, 8]. Для объяснения этого феномена целенаправленно отобраны и проанализированы две пробы из почвообразующих нижнеюрских аргиллитов в устьевой части долины р. Хаником-дон и в ее истоках (табл. 2). Результаты анализа показали резко повышенное содержание в аргиллитах базовых металлов (Fe, Cu, Zn, Ba, Pb, As) для полиметаллических месторождений, руды которых перерабатывались на ФОФ. Эти данные позволили предполагать, что: а) в процессе длительного формирования в горных условиях почв ПП они вполне могли обогатиться приведенными выше базовыми металлами; б) при наличии высоких концентраций базовых металлов в осадочных породах они могут быть мобилизованы при помощи механизма «конвективной ячейки» при наличии благоприятных условий, согласно латераль-секреционной гипотезе, из черносланцевой толщи аргиллитов с формированием практически значимых рудных тел жильного типа полиметаллических месторождений Кадат, Какадур.

ВЫВОДЫ

1. На основании анализа количественными методами почв огородов и природных пастбищ (ПП) получены дополнительные доказательства необходимости комплексной утилизации захороненных промышленных отходов ФОФ, с предварительным извлечением из них экономически ценных, включая благородные, и экологически опасных металлов.

2. Выявлена высокая степень загрязнения почв огородов и ПП в долине р. Хаником-дон, а масштаб загрязнения оценен в 7 км вдоль долины.

3. Результаты анализа показали резко повышенное содержание в аргиллитах базовых металлов (Fe, Cu, Zn, Ba, Pb, As), позволившие предполагать, что в процессе длительного формирования в горных условиях почв ПП они вполне могли обогатиться приведенными выше базовыми металлами.

4. Наличие высоких концентраций базовых металлов в нижнеюрской аргиллитовой толще дало возможность предполагать, что эти металлы могли быть мобилизованы с помощью механизма «конвективной ячейки» согласно латераль-секреционной гипотезе, из черносланцевой толщи аргиллитов с формированием промышленно значимых рудных жильных тел на полиметаллических месторождениях Кадат и Какадур.

Работа подготовлена при поддержке гос. темы регистрационный номер АААА-А19-119040190054-8 в КНИО ВНЦ РАН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бортников Н.С., Богатилов О.А., Карамурзов Б.С., Гурбанов А.Г., Докучаев А.Я., Газеев В.М., Лексин А.Б., Шевченко А.В. Оценка воздействия захороненных промышленных отходов Тырныаузского вольфрамово-молибденового комбината на экологическую обстановку (почвенно-растительный слой) прилегающих территорий Приэльбрусья (Кабардино-Балкарская республика, Россия) // *Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*, 2013. № 5. С. 405–416.
2. Вагин В.С., Голик В.И. Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа // *Учебник для вузов.* – Владикавказ: Проект-Пресс, 2005. 192 с.
3. Газданов А. Ц. и др. Отчет о научно-исследовательской работе «Подготовка экологически напряженных локальных объектов к мониторингу (Оценка техногенного воздействия хвостохранилищ Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик на окружающую среду). Госкомнедра РСФСР-А, геологическое научно-производственное предприятие «Севосгеонаука». Фонд ФГГРУП «Севосцветметразведка», 1996. 103 с.
4. Гурбанов А.Г., Шаizzo Ю.К., Лексин А.Б., Газеев В.М., Докучаев А.Я., Цуканова Л.Е., Якушев Я.И., Семенова И.В. Промышленные отходы Мизурской горно-обогатительной фабрики Садонского свинцово-цинкового комбината: геохимические особенности, оценка их воздействия на экологическую обстановку прилегающих территорий (почвы и воду р. Ардон). Республика Северная Осетия-Алания // *Вестник ВНЦ РАН*, 2012. Т.12. № 4. С. 29–40.
5. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Илаев В.Э. Закономерности в характере распределения в вертикальных разрезах содержаний макро- и микроэлементов и в распределении по латерали величин средних содержаний ряда элементов по данным изучения керн скважин пробуренных на всю мощность Унальского хвостохранилища (республика Северная Осетия-Алания) // *Вестник ВНЦ РАН*. 2019. Т. 19. № 2. С.78–88.
6. Гурбанов А.Г., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Оганесян А.Х., Дзедоев С.О. Закономерности в характере распределения содержаний макро- и микроэлементов в поверхностном слое (0.6 м) Фиагдонского хвостохранилища (республика Северная Осетия-Алания) // *Вестник ВНЦ РАН*, 2019. Т. 19. № 4. С. 51–59.
7. Гурбанов А.Г., академик Богатилов О.А., Лексин А.Б., Газеев В.М., Гурбанова О.А., Лолаев А.Б., Илаев В.Э. Первые данные о вариациях содержаний макро-, микроэлементов и благородных металлов в вертикальных разрезах в промышленных отходах Фиаг донского хвостохранилища (республика Северная Осетия-Алания). ДАН, 2019. Т. 487. № 1. С. 67–70.
8. Лолаев А.Б., Гурбанов А.Г., Дзедоев С.О., Илаев В.Э. Динамика загрязнения водного бассейна р.Ардон (Республика Северная Осетия-Алания, РФ) захороненными промышленными отходами Садонского свинцово-цинкового комбината и шахтными водами // *Горный информационно-аналитический бюллетень -ГИАБ (научно-технический журнал)*, 2018. № 6. Спец.вып. 25. С.117–126.
9. Реутова Н.В., Дреева Ф.Р., Реутова Т.В., Шевченко А.А. Исследование генотоксического влияния хвостохранилищ горно-обогатительного комбината. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН, г. Нальчик, № 1 (63), 2015.
10. Смирнова О.К., Сарпулова А.Е., Цыренова А.А. Особенности нахождения тяжелых металлов в геотехногенных ландшафтах Джидинского вольфрам-молибденового комбината // *Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология*, 2010. № 4. С. 319–327.
11. Чантурия В.А. Прогрессивные технологии обогащения руд комплексных месторождений благородных металлов // *Геология рудных месторождений*, 2003. Т. 45. № 4. С. 321–328.

THE ASSESSMENT OF THE SCALE AND EXTENT OF THE NEGATIVE IMPACT OF THE FIAGDON TAILINGS DAM ON THE ECOSYSTEM

A.G. Gurbanov^{1,2}, A.B. Leksin¹, V.M. Gazeev^{1,2}, O.A. Gurbanova³,
A.B. Lolaev^{2,5}, A.Kh. Oganessian^{2,4}, S.O. Dzeboev⁴

1 – Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS)

2 – Federal State Budgetary Institution of Science "Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences" (VSC RAS)

3 – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow State University named after MV Lomonosov" (MSU)

4 – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "The North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (NCIMM (STU)

5 – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "North Ossetian State University named after KL Khetagurov" (NOSU)

Abstract. The research relevance: revealed additional evidence of the need for complex disposal of buried industrial waste with preliminary extraction of economically valuable, including noble and environmentally dangerous metals; revealed a high degree of soil contamination in the valley of the Khanikom-don river.

The research objective based on geochemical data is to determine the extent and degree of soil contamination in the territory adjacent to the Fiagdon tailing dump. In the article, based on the results of geochemical studies with quantitative methods (XRF and ICP MS) of soils of agricultural lands (orchards) in the Kurtat and Mountain Dzuarikau settlements and from natural pastures, estimated the extent and magnitude of contamination by industrial wastes stored in the Fiagdon tailing dump. Data on the content of economically valuable and environmentally dangerous elements in the soils of vegetable gardens and natural pastures are presented for the first time, and the geochemical role of soil-forming mudstones of the lower Jurassic age in the formation of soils is considered. It is shown that the mechanism of soil contamination is caused by wind erosion of the surface layer of the tailing dump, and then from catastrophic craters on its surface. In addition, based on the results of analyses showing sharply increased content of base metals in mudstones (Fe, Cu, Zn, Ba, Pb, As), it is suggested that there is another natural source of soil contamination of NP - soil-forming mudstones. Because during the long-term formation of NP soils in mountain conditions, they may well have been enriched with the above-mentioned base metals. It is emphasized that the presence of high concentrations of base metals in the lower Jurassic mudstone column made it possible to assume that these metals could be mobilized using the «convective cell» mechanism according to the lateral-secretion hypothesis, from the black-shale mudstone column with the formation of industrially significant ore vein bodies of the Kadat and Kakadur polymetallic deposits.

Keywords: Fiagdon tailing dump, macro- and microelements content, soil contamination of natural pastures and farmlands(vegetable gardens), heavy metals

REFERENCES

1. Bortnikov N.S., Bogatikov O.A., Karamurзов B.S., Gurbanov A.G., Dokuchaev A.YA., Gazeev V.M., Leksин A.B., Shevchenko A.V. Ocenka vozdeystviya zahoronennykh promyshlennykh othodov Tyrnyauzskogo vol'framovo-molibdeneovogo kombinata na ekologicheskuyu obstanovku (pochvenno-rastitel'nyj sloj) prilgayushchih territorij Priel'brus'ya (Kabardino-Balkar- skaya respublika, Rossiya) // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya, 2013. № 5, S. 405–416.
2. Vagin V.S., Golik V.I. Problemy ispol'zovaniya prirodnykh resursov YUzhnogo federal'nogo okruga // Uchebnik dlya vuzov. – Vladikavkaz: Proekt-Press, 2005. 192 s.
3. Gazdanov A. C. i dr. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Podgotovka ekologicheskij napryazhennykh lokal'nykh ob'ektov k monitoringu (Ocenka tekhnogennogo vozdeystviya hvostohranilishch Mizurskoj i Fiagdonskoj obogatitel'nykh fabrik na okruzhayushchuyu sredu). Goskomnedra RSO-A, geologicheskoe nauchno-proizvodstvennoe predpriyatie «Sevosgeonauka». Fond FGGRUP «Sevoscvetmetrazvedka», 1996. 103 s
4. Gurbanov A.G., SHazzo YU.K., Leksin A.B., Gazeev V.M., Dokuchaev A. YA., Cukanova L.E., YAKushev YA.I., Cemenova I.V. Promyshlennye othody Mizurskoj gorno-obogatitel'noj fabriki Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata: geohimicheskie osobennosti, ocenka ih vozdeystviya na ekologicheskuyu obstanovku prilgayushchih territorij (pochvy i vodu r. Ardon). Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya // Vestnik Vladikavkazskogo nauchnogo centra RAN, 2012. T.12. № 4. S. 29–40.
5. Gurbanov A.G., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Ilaev V.E. Zakonomernosti v haraktere raspredeleniya v vertikal'nykh razrezakh sodержanij makro- i mikroelementov i v raspredelenii po laterali velichin srednih sodержanij ryada elementov po dannym izucheniya kerna skvazhin proburenykh na vsyu moshchnost' Unal'skogo hvostohranilishcha (respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) // Vestnik VNC RAN. 2019. T. 19. № 2. S.78–88.
6. Gurbanov A.G., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Oganesyаn A.H. , Dzeboev S.O. Zakonomernosti v haraktere raspredeleniya sodержanij makro- i mikroelementov v poverhnostnom sloe (0.6 m) Fiagdonskogo hvostohranilishcha (respublika Severnaya Osetiya-Alaniya) // Vestnik VNC RAN, 2019. T. 19. №4. S. 51–59 .
7. Gurbanov A.G., akademik Bogatikov O.A., Leksin A.B., Gazeev V.M., Gurbanova O.A., Lolaev A.B., Ilaev V.E. Pervye dannye o variaciyah sodержanij makro-, mikroelementov i blagorodnykh metallov v vertikal'nykh razrezakh v promyshlennykh othodah Fiag donskogo hvostohranilishcha (respublika Severnaya Osetiya-Alaniya). DAN. 2019. T. 487. № 1. S. 67–70.
8. Lolaev A.B., Gurbanov A.G., Dzeboev S.O., Ilaev V.E. Dinamika zagryazneniya vodnogo bassejna r.Ardon (Respublika Severnaya Osetiya-Alaniya, RF) zahoronennymi promyshlennymi othodami Sadonskogo svincovo-cinkovogo kombinata i shahtnymi vodami // Gornyj informacionno- analiticheskij byulleten' -GIAB (nauchno-tehnicheskij zhurnal), 2018. № 6. Spec.vyp.25. S.117–126.
9. Reutova N.V., Dreeva F.R., Reutova T.V., Shevchenko A.A. Issledovanie genotoksicheskogo vliyaniya hvostohranilishch gorno-obogatitel'nogo kombinata. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN, g. Nal'chik, № 1 (63), 2015.
10. Smirnova O.K., Sarapulova A.E., Cyrenova A.A. Osobennosti nahozhdeniya tyazhelykh metallov v geotekhnogennykh landshaftah Dzhidinskogo vol'framo-molibdenovogo kombinata // Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. 2010. № 4. S. 319–327.
11. CHanturiya V.A. Progressivnye tekhnologii obogashcheniya rud kompleksnykh mestorozhdenij blagorodnykh metallov // Geologiya rudnykh mestorozhdenij. 2003. T. 45. № 4. S. 321–328.