

ТЕХНОГЕННЫЕ ПОТОКИ РАССЕЯНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РЕКАХ ГОРНОРУДНЫХ ЛАНДШАФТОВ

К.г.м.н. Е.П. Янин

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
г. Москва
yanin@geokhi.ru

Горнодобывающая промышленность оказывает существенное влияние на миграцию химических элементов, которая проявляется в формировании интенсивных и протяженных геохимических аномалий в донных отложениях рек. В существенной мере это определяет поступлением в водотоки осадочного материала, обладающего специфическим химическим составом и обогащенного химическими элементами. Техногенное воздействие приводит к изменению природного (характерного для данного района) соотношения основных форм миграции металлов – взвешенной и растворенной, прежде всего, за счет увеличения доли взвешенных форм.

Горнорудные ландшафты являются районами активного техногенного преобразования окружающей среды. Это связано с изъятием и механическим нарушением значительных массивов земель и с интенсивным загрязнением среды обитания химическими элементами и их соединениями. «Рудная деятельность человечества, – в свое время подчеркивал В.И. Вернадский, – является одним из больших биогеохимических процессов современной эпохи и вносит новое в геохимию всех химических элементов» [4, с. 229]. Действительно, техногенные преобразования в горнорудных районах захватывают территории, многократно превышающие площади горных (земельных) отводов, проявляются в глубокой трансформации химического состава практически всех компонентов биосферы и являются главным фактором, сдерживающим социально-экономическое развитие данных регионов [7, 24, 25, 32, 37, 47, 48, 50]. Размеры зон влияния эксплуатируемых рудных месторождений на прилегающие территории достигают десятки, часто сотни квадратных километров (в исключительных случаях – тысячи квадратных километров); радиус образующихся при осушении месторождений депрессионных воронок составляет десятки километров (при понижении напоров, измеряемых иногда сотнями метров). В отвалы и хвостохранилища ежегодно поступают миллиарды кубических метров отходов добычи и обогащения руд. В большинстве случаев степень извлечения из руд полезных компонентов относительно невелика. Часто из них извлекается только 1–3 компонента при содержании в рудах в несколько раз большего числа полезных компонентов. Из шахт, с рудников и обогатительных фабрик отводятся и сбрасываются в поверхностные водные объекты значительные объемы сточных вод, содержащих взвешенные вещества, разнообразные органические и неорганические соединения. В атмосферу поступают огромные количества пыли, газов, химических элементов и их соединений.

В потенциале любое рудное месторождение представляет собой комплексный источник загрязнения окружающей среды, что связано с присут-

ствием повышенных концентраций широкой ассоциации химических элементов в добываемых и перерабатываемых рудах и в отходах производства, нередко составляющих до 98% извлекаемой горной массы. Основными первичными источниками загрязняющих веществ являются руды и геохимические (первичные) ореолы, причем пространственные размеры последних и количество (масса) заключенных в них химических элементов в большинстве случаев превышают параметры рудных тел, вокруг которых они образуются. В освоенных районах главным фактором преобразования природной среды являются техногенные процессы, проявляющиеся уже на стадиях поисков и разведки и значительно интенсифицирующиеся при эксплуатации месторождений. Для техногенных миграционных цепей, где распространение загрязняющих веществ происходит при образовании отходов, стоков и выбросов, интенсивность загрязнения (степень экологической опасности) во многом определяется типом месторождения, его минерало-геохимическими особенностями, связана с принятой системой добычи, обогащения и переработки минерального сырья и во многом обусловлена объемами и составом извлекаемых горных пород и руд, качеством очистки сточных вод, промышленных выбросов, способами обработки и особенностями хранения твердых отходов, а также зависит от характеристик местных ландшафтов [2, 23–25, 27, 38, 42, 43, 47]. На ранних стадиях освоения месторождения состав химического загрязнения в целом соответствует геохимической специализации территории. По мере увеличения степени освоения месторождения интенсивность техногенного воздействия увеличивается, а качественный состав загрязнения может резко меняться. Наиболее экологически опасными являются промышленно-генетические типы месторождений, разработка которых приводит к резкому увеличению мощности зоны пипергенеза и изменению условий миграции поллютантов [13, 14, 24].

Особенно велики в горнорудных районах масштабы техногенного воздействия на водные системы, нередко всецело определяющие их геохимические особенности [37, 41]. В воде и донных отложениях рек горнорудных районов формируются интенсивные, комплексные по составу и протяженные техногенные геохимические аномалии (техногенные потоки рассеяния химических элементов), своими характеристиками существенно отличающиеся от природных (рудогенных) аномалий (рудогенных потоков рассеяния химических элементов) [26, 26]. Особенности концентрирования и распределения химических элементов в реках горнорудных районов рассмотрим на основе материалов, полученных на реках Северной Осетии [24, 30, 37, 43, 44–46] и Кабардино-Балкарии [24, 28].

В пределах Северной Осетии металлические полезные ископаемые обособляются в три субширотных пояса: полиметаллический, расположенный в пределах Северо-Юрской депрессии, медный и медно-полиметаллический (колчеданный пояс), приуроченный к северной и центральной частям Центрального поднятия и редкоземельный, в зоне Южного склона. Наибольшее значение имеют полиметаллические месторождения (цинка, свинца и сопутствующих металлов – висмута, золота, кадмия, серебра и др.) [8, 36] (рис. 1), которые образуют три основных рудных поля: Садонское, Фиагонское, Буронское. Садонское рудное поле включает месторождения и рудопроявления (Фаснал, Згид, Садон, Бачита, Октябрьское, Холетинское, Джими и др.) жильного типа.

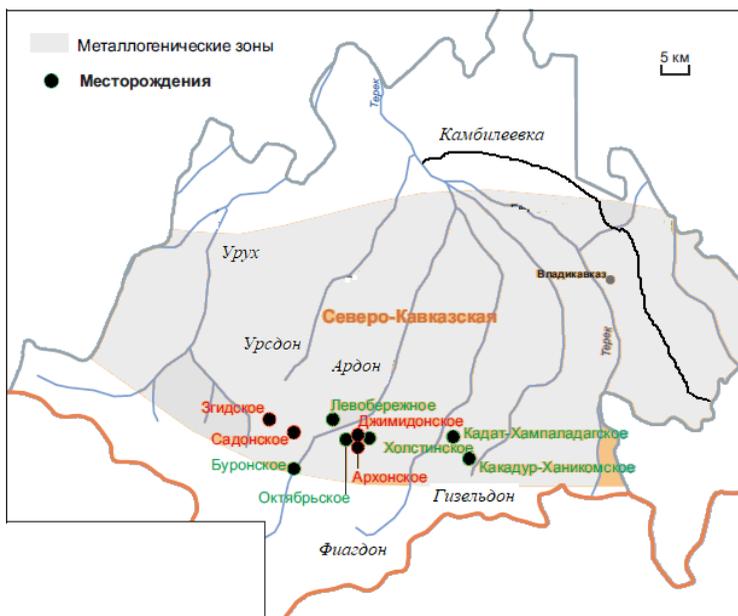


Рис. 1. Основные полиметаллические месторождения Северной Осетии.

В большинстве случаев образованы серии рудных жил, не выдержанных ни по мощности, ни по падению, ни по простиранию. Например, Садонское месторождение гидротермального типа локализовано в форме кварцевых и кварцево-карбонатных жил и прожилков, с гнездообразными скоплениями сульфидов свинца, цинка, меди и железа [11]. Рудные тела залегают на глубине до 250 м. Форма рудных тел – зоны, жилы, линза, прожилки. Простирание месторождения до 4,5–5 км, падение до 1,5 км. Мощность жил изменяется в пределах 0,2–0,26 м, протяженность 20–50 м и редко превышает ее. Руды локализованы в геологических блоках протяженностью 80–160 м, разобценных породными интервалами длиной 200–400 м. Главными рудными минералами являются сфалерит, галенит, пирит, пирротин, халькопирит, второстепенными – арсенопирит и марказит, отмечаются прожилки самородного мышьяка. Помимо основных полезных металлов – свинца и цинка – промышленное значение в комплексе имеют серебро, кадмий, индий, медь. Фиагдонское рудное поле представлено месторождениями Левобережным, Кадатским, Ханиконским, Какадурским и рядом рудопроявлений. Морфологически рудные тела представлены зонами брекчирования. Минеральный состав – галенит, сфалерит, пирит, арсенопирит, халькопирит. В рудах, наряду со свинцом и цинком, отмечены олово, серебро, золото, кадмий, висмут, присутствуют мышьяк и молибден. Буронское рудное поле (месторождения Староцейское, Буронское, Восточное и Лабагомское и около 20 рудопроявлений) расположено в центральной части Горной Осетии в области восточного погружения кристаллического ядра Кавказского мегантиклинория. Основные рудные минералы: пирит, сфале-

рит, халькопирит, пирротин, галенит. Наряду со свинцом и цинком в рудах месторождений содержатся заметные количества висмута, олова, кадмия, кобальта, серебра, мышьяка, индия, никеля, селена и титана. Рудные тела месторождений характеризуются сильной тектонической нарушенностью, что предопределило высокие потери руд при их добыче [10]. На многих месторождениях (Садонское, Згидское, Мизурское, Фиагонское, Архонское, Холстинское и др.) всегда обрабатывали наиболее богатые участки рудных тел, оставляя в недрах некондиционные руды [11]. Потерянные запасы переводились в категорию неактивных, которые сейчас достигают 50% от исходных суммарных запасов месторождений рудного района. Потери руд в недрах оцениваются в 2 млн т с содержанием свинца около 2,6% и цинка более 3%.

Горнорудные предприятия на момент проведения основных исследований (середина 1980-х гг.) были представлены 5 рудниками (Садонский, Згидский, Холстинский, Архонский, Фиагонский), входившими в состав Садонского свинцово-цинкового комбината. Промышленная эксплуатация Садонского рудника началась в 1853 г. (за время эксплуатации добыто 7,5 млн. т руды), Згидского – в 1946 г., Холстинского – в 1953 г., Архонского – в 1955 г. (с перерывом 1956–1959 гг.), Фиагонского – в 1960 г. (добыто более 1,1 млн. т руды). В 1984 г. рудниками Садонского свинцово-цинкового комбината добыто руды: Згидский – 139 тыс. т, Садонский – 154 тыс. т, Холстинский – 65 тыс. т, Архонский – 164 тыс. т, Фиагонский – 129 тыс. т. В составе Садонского свинцово-цинкового комбината действовало 2 обогатительных фабрики – Мизурская (с 1896 г., первоначальная мощность – 30 тыс. т руды/год, в середине 1980-х гг. – более 550 тыс. т/год) и Фиагонская (с 1970 г., мощность 150 тыс. т руды/год). Извлечение свинца после обогащения руд достигало 80–82%, цинка – 82–84, серебра – около 60, кадмия – около 56, висмута – около 30% [11]. Большая часть неизвлеченных металлов поступала в хвостохранилищах. В хвостах Мизурской обогатительной фабрики концентрации цинка составляют 0,15–0,25%, свинца – 0,13–0,19%; в жидкой осветленной фракции – цинка 340 мкг/л, свинца 5000 мкг/л [12]. В хвостах Фиагонской ОФ уровни цинка составляют 0,18–0,24%, свинца – 0,18–0,24%, в жидкой осветленной фракции – цинка – 3240 мкг/л, свинца – 540 мкг/л. В обоих хранилищах на площади около 120 га размещено около 3 млн. т отходов. В горнорудных районах Северной Осетии также размещено до 0,3–0,6 млн. т отходов разведочных работ. По сообщению [12], в отходах (общей массой более 7 млн. т.) добычи, обогащения и производства металлов в пределах Северной Осетии (на площади более 250 га) накоплено более 350 т ртути, 8000 т мышьяка, 4700 т селена, 26000 т меди, 25000 т цинка и 60000 т цинка. За многие годы эксплуатации месторождений рудоносные блоки на отдельных участках рудного района обрушены с выходом на поверхность зон обрушения и оседания диаметром до 70 м [11]. Зоны обрушения являются проводниками водных масс, которые выщелачивают оставшиеся руды. Высокие потери руд, до 40% от исходных запасов, температура 30–50°C и достаточное количество воды и воздуха приводят к постоянному окислению сульфидов и к их непрерывному изменению и растворению растворами сквозного трещинного и инфильтрационного происхождения. Концентрация металлов в рудничных стоках, поступающих в р. Ардон, превышала ПДК по свинцу в 40–50 раз, по цинку – в сотни раз. В процессе добычи и переработки полезных ископаемых, в том числе и повторной, многие минеральные виды, особенно сульфиды и карбонаты, находясь в зоне окисления и подвергаясь выщелачиванию и вы-

носу в горные речные системы, будут способствовать укрупнению и усилению старых или же формировать новые мощные очаги загрязнения. Дополнительными источниками являются процессы эолового и водного выноса поллютантов с хвостохранилищ. В результате обогащения руд получали свинцовый и цинковый концентраты и отходы обогащения («хвосты», складированные в хвостохранилищах). В середине 1980-х гг. концентраты направлялись во Владикавказ на завод «Электроцинк» (цинк, свинец, кадмий, серная кислота); здесь расположен завод «Победит» (производство тяжелых и твердых сплавов на основе вольфрама и молибдена). В отвалах заводов, складированных на открытой площадке площадью 5 км², к настоящему времени накоплено около 3 млн. т твердых отходов с высокими концентрациями многих металлов [12].

Главной рекой Северной Осетии является Терек, который берёт своё начало за пределами Республики, в ледниках горы Зилга-хох на высоте 2713 м и имеет длину примерно 600 км (в том числе на территории Северной Осетии — 110 км) [1, 21]. У Терека имеется множество притоков, из которых наиболее крупными являются Урух, Ардон, Камбилеевка, Гизельдон. Ардон, левый приток Терека, образуется от слияния рек Мамисондон, Нардон, Адайком и Цмиакомдон, которые в свою очередь берут начало в ледниках Главного Кавказского хребта. Длина Ардона — 102 км, площадь бассейна — 2700 км². До выхода на предгорную Осетинскую равнину река течёт по глубокому Алагирскому ущелью. В ущелье Ардона и его притоков расположено Садонское рудное поле (месторождение свинцово-цинковых руд) и посёлки городского типа Бурон, Садон, Верхний Згид, Мизур и Холст. Питание рек бассейна Ардона смешанное (ледниковое, снеговое, грунтовое, дождевое). Минерализация воды притоков Ардона в горной части варьируется в от 40 (Коссайдон) до 195 мг/л (Садонка), собственно Ардона до выхода из ущелья — 132–184 мг/л, у с. Ниж. Бираганг — до 380 мг/л [19]. Одним из притоков (правых) Ардона, в бассейне которого имеются рудные месторождения, является р. Кутардон. Река Уналдон, в верховьях которой находится рудник Холст и поисково-разведочные штольни полиметаллических месторождений — Джими, Уарахком, Хороновское, а также поля рассеяния сульфидов рудопроявлений Сухой Лог, Ахшартырахское, Верхнеунальское и Крутое, собирающая стоки с отвалов Холстинского и Джимидонского ущельев, содержит в аллювии и взвеси повышенные концентрации тяжелых металлов. Унальское хвостохранилище было создано в 1968 г. для хранения отходов обогащения полиметаллических руд Мизурской обогатительной фабрики, накопление отходов переработки происходило до 2004 г. [9]. Хвостохранилище Мизурской обогатительной фабрики расположено в центральной части Алагирского района в долине р. Ардон, на ее левом берегу между селениями Унал и Зинцар, в 8 км к северо-востоку от Мизурской обогатительной фабрики (пос. Мизур). Хвостохранилище относится к сооружениям пойменного типа, по способу заполнения — к намывному. Хвостохранилище односекционное и предназначенное для складирования отходов переработки свинцово-цинковых руд, отстоя и осветления воды, сбрасываемой в р. Ардон. Площадь хвостохранилища — 22,5 га. Общее количество отходов оценивается величиной до 4,1 млн. т.

Фиагон образуется от слияния рек Дзамарапдон и Бутультадон, берущих начало от ледников гор Тепле и Сурхбарзонд, протекает по Куртатинскому ущелью. Длина реки 75 км, площадь водосбора около 400 км². Водный режим реки характеризуется выраженными зимней меженью, когда

таяние ледников прекращается, и весенне-летним половодьем. Наличие в пределах водосбора реки полиметаллических месторождений и проявлений (Какадур-Ханикомское, Кадат-Хампаладагское и др.) обуславливает несколько повышенные уровни ряда химических элементов (Pb, Cu, Zn, Bi, Sn) в речных отложениях. В низовьях правого притока Фиагдона – р. Ханикомдон – расположено хвостохранилище Фиагонской обогатительной фабрики [9]. Оно занимает территорию долины реки от устьевой ее части до участка в 500 м ниже с. Горный Дзуарикау. Хвостохранилище относится к сооружениям пойменного типа, по способу заполнения – к намывному. Хвостохранилище односекционное и предназначенное для складирования отходов переработки полиметаллической руды, отстоя и осветления воды, сбрасываемой в р. Ханикомдон. Общее количество отходов I и II класса опасности к концу 1989 г. (год прекращения работ) оценивается величиной 2382 тыс. т. Емкость хвостохранилища образована в понижении рельефа, приуроченном к участку долины реки Ханикомдон путем создания подпорных сооружений – верхней и нижней ограждающих дамб (плотин). В настоящее время хвосты покрыты изолирующим слоем из привозного несортированного древесно-щебенистого грунта с супесчаным заполнителем, имеющим незначительную мощность (0,2 м). Полезная площадь поверхности хвостохранилища – 93622 м². Общая площадь земельного участка, занятого под сооружением хвостохранилища, составляет 159777 м². В настоящее время существенным фактором, определяющим загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (Pb, Zn, Cu, Cd), является дефляция с открытой поверхности хвостохранилища. Хвосты представляют собой измельченную горную массу, по гранулометрическому составу близкую к мелкозернистым пылеватым пескам. В сухом состоянии они достаточно легко раздуваются ветром. Камбилеевка, правый приток Терека, берет свое начало в лесистой части северного склона Скалистого хребта, в Тарской котловине, площадь водосбора 954 км², длина 103 км, имеет несколько притоков, один из которых р. Собачья балка (впадает в Камбилеевку на 32,5 км от истока последней). Собачья балка используется для отведения сточных вод промышленных предприятий, в том числе заводов «Электроцинк» (функционирует с 1958 г.) и «Победит». Сточные воды и поверхностный сток с территории этих предприятий обогащены взвешенными веществами (более 4200 мг/л), обладают высокой минерализацией, отличаются высокими уровнями сульфатов, Zn, Cu, Cd и других химических элементов. В середине 1985 г. со стоками заводов в реку поступало до 375 т Zn, 5,6 т Cd, до 1 т Pb. Подземные воды речных долин используются для водоснабжения. Воды аллювиальных отложений преимущественно гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией до 400 мг/л [1]. Вода из рек Фиагон, Ардон и Камбилеевка используются для орошения сельскохозяйственных угодий. Здесь созданы Фиагонская оросительная система (около 5000 га, Ардонская (около 6000 га) и Цалькская (Камбилеевка) – более 9000 га.

Резкое увеличение количества переносимых водотоками взвешенных наносов в горнорудных районах обуславливает ведущую роль транспорта химических элементов во взвешенных формах миграции (рис. 2, табл. 1, 2).

Так, разовые гидрохимические опробования рек Северной Осетии показали, что рудогенные потоки рассеяния характеризуются содержаниями металлов в растворе речных вод в пределах фоновых. Несколько повышены уровни их растворенных и взвешенных форм металлов на территориях

проведения работ. Более интенсивные аномалии, особенно во взвешенных формах, проявляются в районах горнорудных и горно-обогатительных предприятий (особенно в зонах воздействия старых горно-обогатительных фабрик). Самые интенсивные и протяженные аномалии в воде фиксируются в зоне воздействия металлургического завода, где подавляющая часть изученных металлов мигрирует во взвешенных формах.

Таким образом, техногенное воздействие приводит к изменению природного (характерного для данного района) соотношения 2-х основных форм миграции металлов – взвешенной и растворенной, прежде всего, за счет увеличения доли взвешенных форм. Это хорошо прослеживается в отношении меди для горнодобывающих предприятий и в отношении Cd, Zn и Cu для зоны влияния металлургических заводов. При удалении от источников воздействия наряду с общим снижением концентрации металлов подобные нарушения сглаживаются, главным образом, за счет более интенсивного выведения из потока взвешенного материала. Протяженность потоков рассеяния во взвешенной форме для горнодобывающих и металлургических предприятий составляет 20–30 км, в растворенных формах намного меньше. Уровни металлов, протяженность и устойчивость (во времени) техногенных гидрохимических аномалий (особенно во взвеси) возрастают в ряду техногенного воздействия «разведка руд – добыча руд – обогащение руд – металлургическая переработка руд». Существенные изменения наблюдаются в общем составе речных вод.

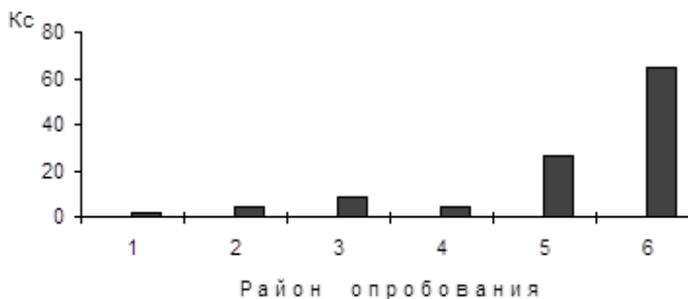


Рис. 2. Взвешенные формы свинца в воде рек Северной Осетии.

K_c – здесь и далее коэффициент концентрации относительно фона; районы опробования: 1 – геологоразведочные работы; 2 – «новый» рудник (15 лет); 3 – «старый» рудник (150 лет); 4 – «новая» обогатительная фабрика (15 лет); 5 – «старая» обогатительная фабрика (90 лет); 6 – металлургический завод.

Интенсивные аномалии металлов в речной взвеси – характерная особенность горнорудных ландшафтов. Например, Л.А. Филипповой [33] на одной из малых рек Забайкалья (район оловянно-полиметаллического месторождения) был установлен интенсивный поток рассеяния Pb, Zn, Sn и Ag в речной взвеси, связанный с воздействием сбросов с обогатительной фабрики. Концентрации Pb, Zn, Sn во взвеси достигали 0,1%. Высокие концентрации указанных элементов во взвеси фиксировались на протяжении 20 км вплоть до впадения в водоток следующего порядка.

Безусловно, именно за счет высоких концентраций и значительных масс взвешенных форм химических элементов и происходит образования интенсивных и протяженных геохимических аномалий в донных отложениях рек. Так, речные отложения горнорудных ландшафтов Северной Осетии отличаются высокими концентрациями целого ряда химических элементов (прежде всего, типоморфных для полиметаллических месторождений) (табл. 3).

Наблюдается направленное увеличение интенсивности и масштабов техногенного загрязнения в ряду воздействия следующих источников: «природные (рудогенные) – геологическая разведка – добыча – обогащение – переработка полиметаллических руд» (табл. 4, 5).

Особенно существенно в указанном ряду воздействия увеличивается протяженность техногенных геохимических аномалий (техногенных потоков рассеяния). Так, если прослеженная протяженность природных геохимических аномалий (рудогенных потоков рассеяния) составляет, как правило, первые сотни метров, то длина техногенных потоков рассеяния достигает несколько десятков километров. Одновременно резко меняются соотношения между концентрациями химических элементов, характерные для рудогенных аномалий. Показательно, что степень концентрирования многих рудных элементов-примесей в техногенных аномалиях выше, нежели в их природных аналогах. В свою очередь, уровни содержания некоторых химических элементов в техногенных образованиях (шламах, техногенно измененных речных отложениях) не уступает их валовым концентрациям в полиметаллических рудах. Максимальное воздействие установлено для водотоков, принимающих сточные воды металлургических заводов (табл. 6).

Техногенное воздействие уже проявляется в районах проведения геологоразведочных работ и существенно усиливается в зонах влияния горнодобывающих предприятий. При входе водотока (в данном случае р. Кутардон) в зону техногенеза (горные выработки, шахты и т. п.) в русловых отложениях наблюдается существенное (в несколько раз) возрастание концентраций основных рудных элементов, прежде всего, Zn и Pb (рис. 3).

Интенсивные, протяженные и стабильные техногенные аномалии металлов установлены в отложениях Ардона (рис. 4). Так, до впадения р. Садонки уровни содержания металлов в русловых отложениях Ардона находятся в пределах фоновых концентраций или незначительно (в 1,5–2 раза) превышают их. При вхождении в зону влияния Садонского рудника, Мизурской обогатительной фабрики и хвостохранилищ их уровни резко возрастают (в 50–200 раз выше фона). Техногенные аномалии (особенно Zn и Pb) стабильны в пространстве, прослеживаются практически (закономерно снижаясь при незначительной вариации вниз по потоку) по всей длине Ардона (более 40 км) и фиксируются в русловых отложениях Терека. Не исключено, что интенсивность и стабильность аномалий указанных металлов во многом обусловлены тем, что до 1984 г. на Мизурской обогатительной фабрике в паводковый период осуществлялся сброс хвостов из старого хвостохранилища в реку.

Еще более интенсивные, протяженные (более 20 км) и стабильные в пространстве техногенные аномалии широкой группы металлов (In, Ag, Bi, Cd, Mo, Sn, Co, Cu, Zn, Pb) установлены в речных отложениях в зоне влияния заводов по производству цветных металлов, расположенных в г. Владикавказе («Электроцинк» и «Победит») (рис. 5, 6).

Таблица 1

Химические элементы в воде рек горнорудных районов Северной Осетии (металлы – мкг/л; остальные – мг/л), сентябрь 1984 г.

Место, источник воздействия	NO ₂ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cu		Cd		Hg		Zn	Pb			
			Р	В	Р	В	Р	В			В	В	
Геологоразведка Рудник Холстинский Устье	0,05	16	17,6	6,4	27	0,5	0,1	17	0,04	0,01	20	34,3	3,2
	0,10	50	20,0	4,1	17	2,5	0,3	11	0,05	0,02	29	23,3	9,6
	0,10	75	14,0	6,4	31	0,5	0,3	38	0,08	0,03	27	178,6	21,3
Выше ОФ 2 км ниже ОФ (15 лет работы) 20 км ниже ОФ	—	—	8	2,0	20	—	0,1	—	0,04	0,02	33	7,2	2,0
	—	—	14	6,4	31	—	0,2	—	0,04	0,03	43	180,0	8,5
	—	—	28	3,4	11	—	0,3	—	0,04	0,02	33	120,0	5,4
Верховья	<	12	15,2	3,0	16	—	—	—	0,03	0,02	40	16,1	2,4
	0,05	16	14,0	2,4	15	—	—	—	0,04	0,03	43	39,2	20,9
Нижние старые рудника Садонский (150 лет) Нижне Мизурской ОФ (90 лет) Нижне хвостохранилища Створ г. Алагиря	0,01	24	11,3	7,6	40	0,6	62,5	99	0,05	0,04	44	129,0	63,3
	0,01	18	12,5	5,2	29	0,5	42,5	99	0,04	0,04	50	87,2	23,0
	0,05	20	20,7	4,7	19	—	—	—	0,03	0,05	63	71,2	12,5

Примечание. Формы миграции: Р – растворенные; В – взвешенные; % – доля взвешенных форм от общего содержания. ОФ – обогатительная фабрика, приведены средние значения за 5-дневный период отработки.

Таблица 2

**Химические элементы в воде р. Камбилеевка (среднее по трем ежедневным опробованиям;
металлы – мкг/л; остальные – мг/л), сентябрь 1984 г.**

Место, источник воздействия	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	SO ₄ ²⁻	Cu		Zn		Cd		Hg		Pb					
				Р	В	Р	В	Р	В	Р	В	Р	В	Р	В	%	
2 км выше	0,005	0,05	33,3	8,6	3,6	29	10,0	16,5	62	0,5	0,3	0,04	0,06	60	< 10	3,8	–
р. Собачья балка																	
2 км ниже	0,430	126	35,0	20,1	149,7	88	42,3	543,2	93	12,1	97,5	0,06	2,83	98	10	246,3	96
р. Собачья балка																	
20 км ниже	0,870	10	56,6	9,8	38,6	80	38,0	293,8	89	6,9	17,4	0,05	0,88	95	< 10	61,1	–
р. Собачья балка																	
50 км ниже	2,500	14	50,0	15,0	10,2	41	20,0	92,6	82	10,0	9,5	0,05	0,24	83	< 10	14,6	–
р. Собачья балка																	

Примечание. Формы миграции: Р – растворенные, В – взвешенные, % – доля взвешенных форм от общего содержания.

Среднее содержание химических элементов в донных отложениях рек Северной Осетии, мг/кг

Элемент	Верховья				Ниже сбросов и обогатительных фабрик		Устьевые участки		Кларк литосферы [5]
	Ардон		Фиагдон		Ардон		Фиагдон		
	Горек	Ардон	Ардон	Фиагдон	Ардон	Фиагдон	Ардон	Фиагдон	
Sc	2,3	3	4,5	1,8	5	2	3	10	
Mn	710	670	620	1580	570	1320	640	1000	
Co	10,2	9,3	14,1	20	13,3	13,4	11	18	
Ni	31	17	43	18	43	17	38	58	
Cu	34	30	44	150	47	54	38	47	
Zn	44	30	80	3800	162	540	24	83	
Ga	17	12	13	18	13	14	16	19	
As	-	-	-	170	130	-	-	1,7	
Sr	48	48	-	32	-	40	-	340	
Y	5	6	9	4	9	5	5	29	
Zr	79	79	62	107	73	64	84	170	
Mo	0,9	0,9	0,9	2,8	0,8	1,4	0,8	1,1	
Ag	0,04	0,04	0,06	4,2	0,08	0,6	0,05	0,07	
Cd	-	-	-	5	-	-	-	0,13	
Sn	3	4,1	4,2	6	3,8	4,8	4,2	2,5	
Ba	200	200	280	190	300	780	240	650	
Yb	-	-	-	-	0,8	-	-	0,33	
Pb	32	31	32	1800	167	840	38	16	
Bi	-	-	0,9	4,8	0,8	1,3	-	0,1	

Геохимические ассоциации в русловых отложениях притоков р. Флагдон

Аномалия	Водоток	Порядок значений K_C химических элементов				
		>100	100–30	30–10	10–3	3–1,5
Природная	Бугультадон	–	–	–	–	Pb-Cu-Bi-Sn
	Дзама راشدон	–	–	–	–	Zn-Cu-Co-Sc-Li-Y
Техногенные	Водотоки, дренирующие					
	участок Кадат-Хампаладаг	–	–	Zn	Pb-Ag	Cu-Bi
	участок Камадур-Хамидонский	–	–	Zn	Pb	Ag-Y-Nb
	Штольню Ханикомскую	Zn	Pb	Ag	Cu	Sn-V

Геохимические ассоциации в донных отложениях горных рек (обобщенные данные по Северной Осетии)

Источник воздействия (период)	Порядок значений K_C химических элементов						Длина, км	Zc
	>100	100–30	30–10	10–3	3–1,5			
Природные	–	–	–	–	Pb-Zn-Bi-Sn-Y	0,1–0,6	10	
Разведочные выработки	–	–	–	Pb	Zn-Cu-Ag-Bi	1–3	18	
Горнорудные (20 лет)	–	–	Zn-Ag	Pb	Cu-Nb-Ga-Y-As	5*	65	
То же (35 лет), Кутардон	–	–	Zn	Pb-Ag	Ba-Nb-Cu-Y-Sr-Bi-As	6**	52	
То же (150 лет), Садонка	–	Pb	Zn	Ag-Cu	Ga-Ni-Co-Sn-Bi-Nb-As	>6	130	
Горнообогатительные (15 лет)	–	–	Zn	Pb-As	Y-Cu-Sc-Ag-Co-Ba-Sb-Bi	>40	60	
То же (90 лет), Мизурская Оф, Ардон	–	Zn-Ag-Pb	Cu	Ba-Bi-Cd-As	Mn-Mo-Sn-Co-Zr-Nb-Hg-Sb	>60	295	
Материал из хвостохранилищ	Ag	Pb-Cd	Ba-Zn-Cu-As	Bi-Mo-Sb	Sn-Co-Nb	–	800	
Полиметаллические руды	Cd-Zn-Ag-Pb	Cu-Bi	Mo	Sn-Co	Y-Ga-Sr	–	7500	
Шламы завода Электроцинк	Ag-Cd-Zn-Pb	Cu-Mo	Co-Sn-Ni	Mn-Bi	W	–	6500	

* Прослеживается в водотоках 1-го порядка до устья; ** фиксируется в водотоке следующего порядка; здесь и в табл. 6: Zc – суммарный показатель загрязнения (его значения менее 10 отвечают слаботому уровню техногенного загрязнения водотока, 10 – 3 – среднему уровню, 30 – 100 – высокому уровню, 100 – 300 – очень высокому уровню, более 300 – чрезвычайно высокому уровню загрязнения [39]).

Таблица 6

**Геохимические ассоциации в донных отложениях Камбилеевки и Собачей балки
(г. Владикавказ, Северная Осетия)**

Участок	Длина, характеристика	Порядок значений K_c химических элементов							Zc
		> 100	100–30	30–10	10–3	3–1,5			
Камбилеевка, верховья	32,5 км; местный фон	–	–	–	–	–	–	Pb-Zn	2
Собачья балка	Сток заводов «Электроцинк», «Победит» и др.	Hg-Ag-Cd-Zn-W-Pb	Mo-Sn-Bi-In	As-Co	Nb-Sb			Ga-Ni-Mn-Sr	3600
Камбилеевка, ниже Собачьей балки	70,5 км; зона транзита и осадконакопления	Hg	Zn	Cd-W-Hg	Pb-Ag-Cu-Mo-As			Nb-Sn-Bi	810
Камбилеевка, устье	Место владения в Терек	Hg		Cd-Zn	W-Pb			Nb-Ag-Cu-Mo	450
Шламы завода «Электроцинк»		Ag-Cd-Zn-Pb	Cu-Mo	Co-Sn-Ni	Mn-Bi			W	6500

Примечание. Стоки завода «Электроцинк», сброс которых осуществляется с 1958 г., составляют около 50% всех сточных вод, поступающих в Собачью балку.

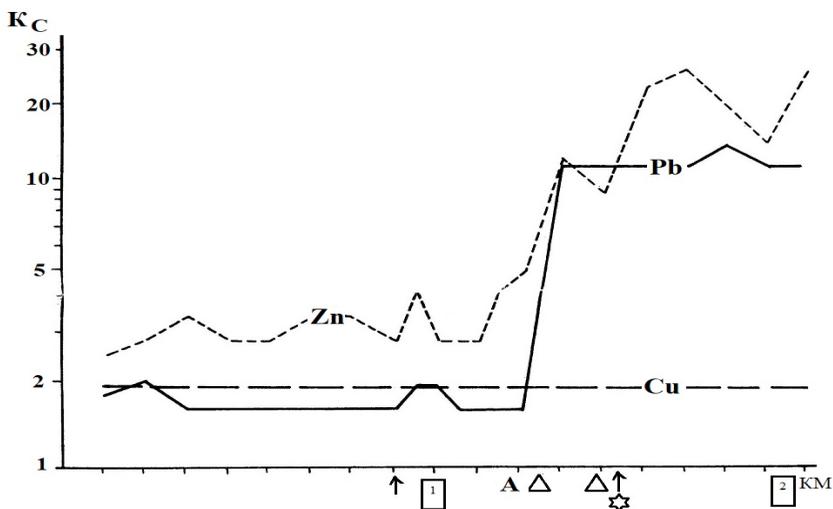


Рис. 3. Цинк, свинец и медь в донных отложениях р. Кутардон в зоне влияния горных выработок (треугольник) и шахты (А), стрелки – места впадения притоков (стрелка со звездой – р. Джимидон), прямоугольник – поселения (1 – пос. Холст, 2 – с. Унал); КМ – километры; K_c – коэффициент концентрации относительно фона.

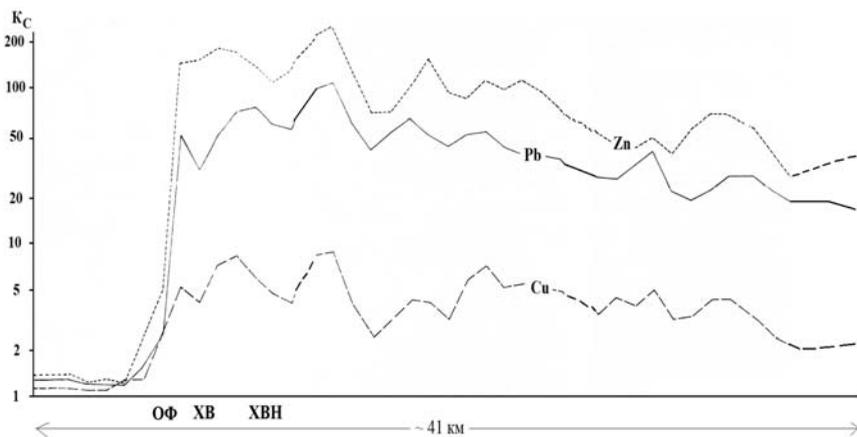


Рис. 4. Тяжелые металлы (Cu, Pb, Zn) в донных отложениях р. Ардон в зоне влияния горнорудных объектов. K_c – коэффициент концентрации относительно фона, ОФ – Мизурская обогащительная фабрика, ХВ – хвостохранилище (старое), ХВН – хвостохранилище (новое). График построен по результатам сглаживания 10 проб (отобранных на 5 створах, пробы на створе отбирались у левого и правого берега).

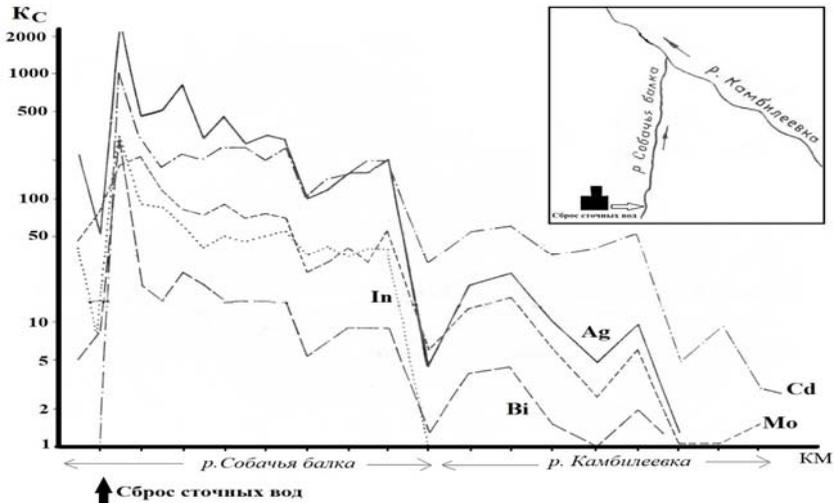


Рис. 5. Тяжелые металлы (In, Bi, Ag, Mo, Cd) в донных отложениях рек Собачья балка и Камбилеевка в зоне влияния заводов по производству цветных металлов. K_C – коэффициент концентрации относительно фона, KM – километры.

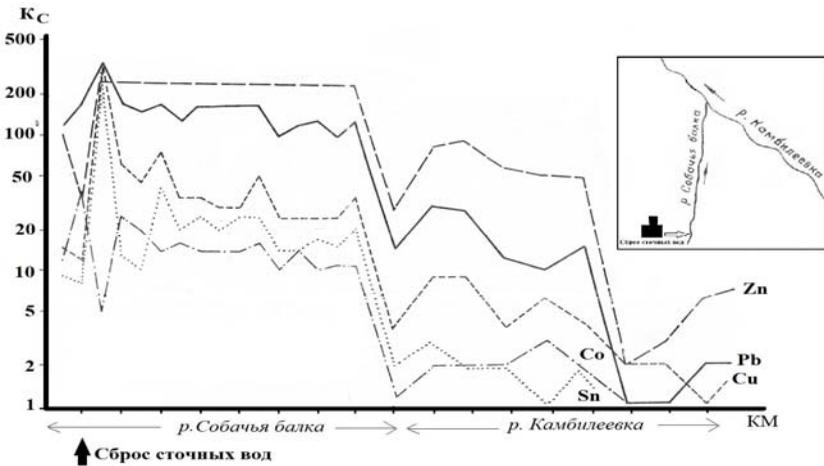


Рис. 6. Тяжелые металлы (Sn, Co, Cu, Pb, Zn) в донных отложениях рек Собачья балка и Камбилеевка в зоне влияния заводов по производству цветных металлов. K_C – коэффициент концентрации относительно фона, KM – километры.

Особенно высокие уровни металлов отмечаются в отложениях р. Собачья балка, принимающей сточные воды и поверхностный сток с территории указанных заводов. Отметим, что концентрации химических элементов в донных отложениях р. Камбилеевки на участке выше устья Собачей балки (т. е. вне зоны влияния стоков заводов) находятся в пределах местного фона и редко достигают значения K_C до 2–4. По мере удаления от источников загрязнения (заводов) концентрации всех изученных элементов (при определенной их вариации) в русловых отложениях Собачей балки и особенно р. Камбилеевки закономерно снижаются (во многом за счет разубоживания техногенного стока природным осадочным материалом). Достаточно синхронное распределение изученных металлов в русловых отложениях явно свидетельствует о едином источнике их поступления (сбросы заводов). Принципиален также тот факт, что интенсивность концентрирования многих попутных (для полиметаллических руд) химических элементов (In, Ag, Bi, Cd и др.) не только не уступает интенсивности концентрирования типоморфных элементов руд (Pb, Zn, Cu), но даже превосходит их.

Значения суммарного показателя загрязнения Z_C для донных отложений свидетельствуют о чрезвычайно высоком уровне техногенного загрязнения рек Северной Осетии, испытывающих воздействие горнодобывающих, горно-обогатительных и металлургических предприятий.

Тырныузское вольфрам-молибденовое месторождение расположено в левом борту долины р. Баксан в 2 км северо-западнее г. Тырныуз на высотах 2000–3200 м, примерно в 40 км к востоку от горы Эльбрус и около 55 км западной г. Нальчика (Кабардино-Балкария) [16, 20, 22]. На месторождении также учтены балансовые запасы меди, висмута, золота и серебра. Оно относится к скарново-шешелитовому типу. Скарновое тело месторождения приурочено к контакту толщи ороговикованных песчаников и сланцев с метаморфизованными известняками и имеет форму антиклинальной складки; рудные тела – крутопадающие, мощностью до 130 м. В скарнах присутствуют значительные количества рудных минералов – шешелита, молибденита, сфалерита, висмутина и др. В пределах рудного поля Тырныуза обнаружено несколько месторождений и рудопроявлений, вблизи которых развиты первичные ореолы W, Mo, Sn, Bi, Be, Zn, Pb, Co, Ni, As, Sb, V. Особенности рельефа и интенсивность проявления экзогенных процессов способствуют образованию вторичных ореолов в рыхлых отложениях разного генезиса (обвально-осыпных, селевых и т. д.). В долине Баксана развиты горно-луговые, горно-лесные, горно-лугово-степные, горно-степные кустарниковые, горно-сухостепные и гляциально-нивальные ландшафты. Разработка месторождения начата в 1938 г. До 1968 г. оно разрабатывалось подземным способом. С 1968 г. начата комбинированная отработка месторождения открытым (карьеры «Высотный» и «Мукуланский») и подземным способами (рудник «Молибден»). Верхняя часть месторождения на отметках 2800–3200 м отрабатывалась карьером «Высотный». Попутно добываемые руды перепускались по карьерному рудоспуску длиной 900 м. Горные работы на карьере «Мукуланский» велись на отметках 2800–2300 м одновременно в нескольких смещенных по высоте склона рабочих зонах. На подземном руднике «Молибден» рудные тела были вскрыты штольнями, слезыми стволами и др. на отметках 2015–2615 м. Значительная часть руды добывалась открытым способом на карьере Мукуланский, меньшая – подземным способом (в шахтах). При открытой разработке пустая порода сбрасывалась в отвалы, а руда по рудоспускам поступала на узел дробления и затем в корпус самоизмельчения. Полученный рудный порошок в смеси с водой по трубам подавался на

обогажительную фабрику (расположена в долине Баксана). В прошлые годы вместо гидротранспорта применялась открытая транспортировка руды по канатным дорогам. Система подэтажных штреков с отбойкой глубокими скважинами при двухстадийном порядке разработки отличалась низкими экономическими показателями, поэтому преимущество получила система этажного принудительного обрушения с одностадийной выемкой [11]. Добыча руд с неуправляемым обрушением сопровождалась развитием неконтролируемых геодинамических явлений, способствовавших потерям и разубоживания (соответственно до 20% и 50%) [12].

Река Баксан (впадает в р. Малку – левый приток Терека) берет свое начало из ледников в районе Эльбруса, длина реки 169 км, площадь водосборного бассейна 6800 км² [15, 21]. Большая часть площади водосбора реки расположена в центральной части Большого Кавказа. В верховьях реки (до г. Тырнауза и пос. Былым) имеется множество притоков, стекающих с ледников Эльбруса, Главного и Бокового хребтов (Ирик, Кыртык, Юсенги, Адыласу, Адырсу, Тюпосу, Герхожансу, Кестанты и др.). Основной тип питания Баксана и его притоков – ледниковый. В весенний период важную роль играют талые снеговые, зимой – подземные воды. Ледниковое питание реки обуславливает особенности ее водного режима – весенне-летнее половодье (с апреля-мая по август-сентябрь) и осенне-зимняя межень (с ноября по март-апрель). Химический состав речных вод (в естественных условиях преимущественно гидрокарбонатный сульфатный, минерализация обычно не более 100 мг/л) достаточно четко отражает литолого-геохимические особенности горных пород, слагающих водосборную территорию. Вода рек и ручьев, берущих начало в районе вольфрам-молибденового месторождения, отличается повышенными концентрациями некоторых химических элементов. Воды Баксана используются для орошения сельскохозяйственных угодий (Баксанская оросительная система).

Тырнаузский горно-металлургический комбинат (ГГМК) неполного цикла, с 1940 г. специализировавшийся на добыче и обогащении вольфрам-молибденовых руд одноименного месторождения, расположен в г. Тырнаузе и представляет собой комплекс территориально разобщенных предприятий, связанных с добычей и обогащением руд (карьер, рудник, обогажительная фабрика, хвостохранилища). На обогажительной фабрике руда (рудный порошок) подвергался флотации, в ходе которой обогащенные Mo частицы всплывали на поверхность флотореагента, а различные примеси с водой по пульпопроводу поступают на хвостохранилища. Из отходов обогащения получали WO₃-концентрат. Помимо вольфрамового и молибденового (промпродукты или сортовые концентраты) на фабрике получали также медно-висмутовый концентрат. Хвостохранилище представляет собой пруд-отстойник, в котором оседает твердая часть «хвостов». Сброс воды (очищенной от флотореагентов хлорной известью и обработанной для осаждения кальция и снижения величин pH серной кислотой) с него осуществляется через водоприемный колодец и соединительный тоннель в р. Гижгит и затем в р. Баксан. В середине 1980-х гг. в долине Баксана было расположено 2 хвостохранилища. Хвостохранилище I – старое, находится в 5 км ниже г. Тырнауза, представляет собой ряд ступенчатых террас, образованных в результате постоянного наращивания ограждающей дамбы. В 1968 г. было построено (ниже г. Тырнауза около пос. Былым) хвостохранилище II. Для закрепления материала хвостов и предотвращения эрозийной эрозии хвостохранилища сверху засыпаются галькой и щебнем. В 2002 г. горные работы по экономическим причинам (низкие содержания полезных

компонентов в рудах и отработка большей части балансовых запасов) пре-
ращены и месторождение законсервировано. В результате деятельности
Тырныаузского ГМК в долинах рек Баксан и Гижитт были сформированы,
захоронены и частично рекультивированы огромные массы отходов обога-
щения, средние уровни содержания в которых многих элементов существен-
но превышают их глобальные параметры распределения (табл. 7).

Таблица 7

Химические элементы в хвостохранилищах Тырныаузского ГМК, мг/кг, по [3]

Элемент	Старое (1959–1967 г.), 64 пробы		Новое (с 1967 г.), 92 пробы		Кларк литосферы [5]
	среднее	интервал	среднее	интервал	
V	55	36 – 70	55	35 – 81	90
Cr	64	48 – 92	66	46 – 112	83
Co	10	6 – 16	11	6 – 20	18
Ni	27	22 – 32	28	21 – 42	58
Cu	29	14 – 58	40	14 – 203	47
Zn	273	167 – 361	230	169 – 306	83
As	111	54 – 264	58	23 – 179	1,7
Rb	55	31 – 103	52	17 – 149	150
Sr	230	189 – 283	180	102 – 263	340
Zr	84	64 – 116	87	63 – 107	170
Mo	115	65 – 221	109	53 – 411	1,1
Ba	164	101 – 346	159	54 – 324	650
W	511	185 – 1249	314	102 – 1349	1,3
Pb	31	11 – 88	19	7 – 69	16

Прямое воздействие ТГМК на окружающую среду связано с механиче-
ским нарушением земель (более 170 га), обусловленного изъятием больших
объемов горных пород при добыче руды и их перемещением (в отвалы и
хвостохранилища) при ее обогащении (к середине 1980-х гг. в отвалах было
накоплено более 30 млн. м³ пустых пород) [28]. Косвенное воздействие гор-
нодобывающей деятельности проявляется в изменении условий миграции
химических элементов и в формировании техногенных геохимических
аномалий. Изменение условий механической и водной миграции обуслов-
лено несколькими причинами: 1) перемещение больших масс горных пород
под действием гравитационных процессов, сопровождающееся формиро-
ванием постоянно действующего «антропогенного Мукуланского селя»,
2) разрушение хвостохранилищ под действием различных природных фак-
торов (эрозийных, селевых и пр.), 3) различные сливы с рудника, обогати-
тельной фабрики и хвостохранилищ. В воздушную миграцию вещество
вовлекается в результате потерь в технологической цепи на стадиях до-
бычи и обогащения. Особенно интенсивно поступление пыли в атмо-
сферу происходит при проведении взрывных работ в карьере, при загруз-
ке и разгрузке автомашин, из вентшахт рудника и обогатительной
фабрики, при дроблении руды, при загрузке концентрата, при золотом
переносе с поверхности хвостохранилищ (рис. 7). Изучение состава пы-
левыбросов, образующихся на различных стадиях технологического
процесса, установило широкую ассоциацию концентрирующихся в про-
мышленной пыли химических элементов (табл. 8).

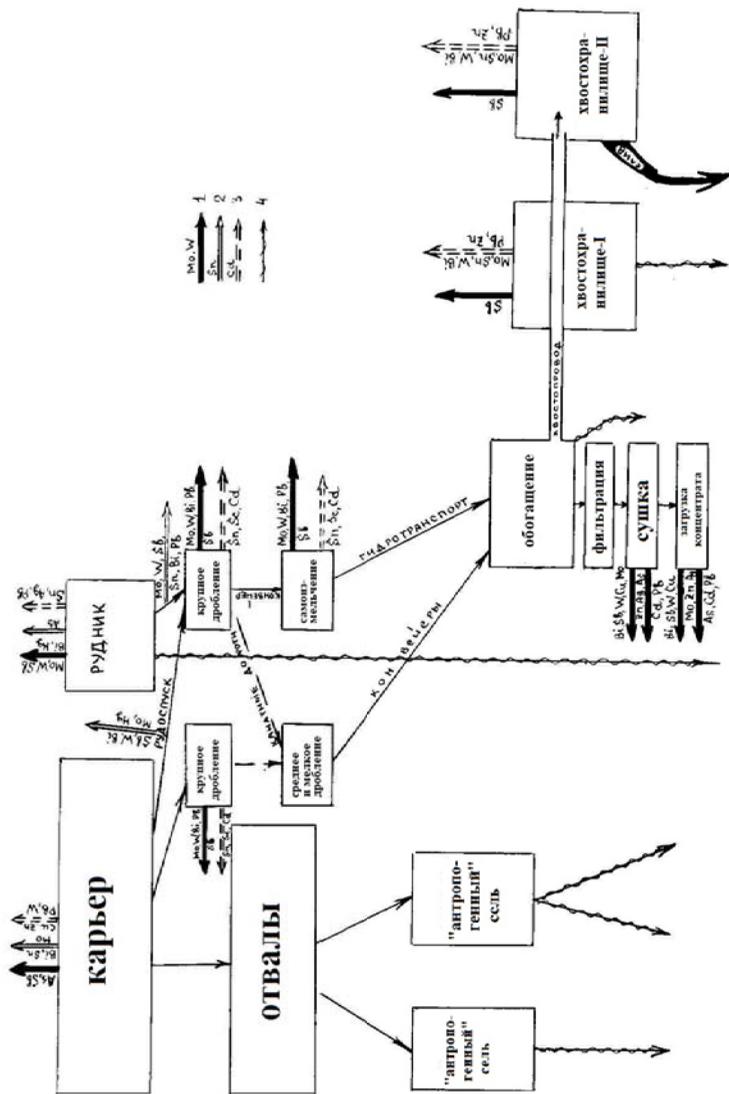


Рис. 7. Схема основных источников промышленного загрязнения в районе ГТМК [28].
 1–3: пылевые выбросы и коэффициенты концентрации химических элементов в пылях; 1 – более 200;
 2 – от 100 до 200; 3 – от 10 до 100; 4 – твердый и жидкий сток.

Геохимические ассоциации элементов в пылевых выбросах ТГМК [24, 25]

Источник	Порядок значений кларков концентрации элементов					
	>10000	10000–1000	1000–100	100–10	10–1	
Карьер	Bi	–	As-Sb-Mo-Sn	W-Pb-Zn-Cu	10–10	B-Ag-Mn-V-Co-Ba-Ga
Шахта	Bi	Hg	W-Mo-Sb-As	Sn-Ag-Pb		Zn-Cu-Mn-B
Обогащительная фабрика: дробление грохочение металлы с грохотов на мельницы Сушка и загрузка концентрата: молибденовый WO ₃ -промпродукт Cu-Bi концентрат	Bi	Sb	W-Pb-Mo	Sn-Ag		Zn-Cu-Mn-B
	–	Bi	W-Mo-Sb	Sn-Pb		Ge-Zn-Mn-Cu-Ag-V
	Bi	–	Pb-Sb-W-Mo	Sn-Sc		Ag-Mn-Cu-V
	Bi	As	Sb-W-Mo	Ag-Sn-Pb		Cu
	–	Sb-Bi	W-Pb-Mo	Ag-Zn		Ge-Sn
	Bi	As-Cd-Ag	Sn-W-Pb-Zn-Mo-Cu	In		Co-Ni-Nb-Cr-V-Mn-P

Важной особенностью геохимических ассоциаций в пыли является наиболее интенсивное концентрирование в ней Bi, Sb, As, W, Mo, Sn, в меньшей степени Pb, Zn, Ag. Показательно, что большинство элементов, являющихся ведущими в геохимических ассоциациях, сопутствуют основному оруденению. Наиболее резко концентрируются элементы в пыли, образующейся при дроблении руды, на метателях с грохотов на мельницы и при сушке и загрузке концентратов, т. е. на начальных и конечных стадиях производственного цикла. Специфично появление высоких концентраций ртути в пылевывбросах шахты, а также Cd и In при сушке и загрузке медно-висмутового концентрата. Высокая пылевая нагрузка в районе ГМК в значительной степени обуславливает намного более интенсивную поставку в ландшафты химических элементов по сравнению с условно фоновыми территориями (табл. 9).

Таблица 9

**Поступление твердого вещества и связанных с ним металлов
со снегом в районе молибден-вольфрамового горнообогатительного комбината,
Тырныауз [28]**

Место	Пыль, мг/м ² /сут	Металлы, $n \cdot 10^{-6}$ мг/м ² /сут			
		Mo	W	Sn	Cu
Верховья Баксана, до 50 км от ГМК	22,3	400	4000	670	6700
Там же	23,7	100	480	350	2370
Карьер Мукуланский	16378	1600000	1640000	164000	1147000
Хвостохранилище-1	1361	39000	40800	40800	40800

Сток наносов реки Баксан формируется по всей площади водосбора, в пределах которой развиты плоскостной смыв, линейная эрозия. Сток взвешенных частиц в течение года неравномерен. Большая часть твердого стока приходится на половодья и паводки. Максимальный расход наносов в Баксане наблюдается в июле (до 340 кг/сек), минимальный – в январе (0,11 кг/сек). Разработка месторождения и сброс сточных вод привели к заметному росту твердого стока (примерно в 3–5 раз) Баксана [35]. В 1958 г. осуществлен размыв старого хвостохранилища ТВМК, что обусловило поступление значительных масс твердого материала в реку. По данным [12], Тырныаузская обогатительная фабрика выдавала ежесуточно более 30 тыс. м³ хвостов, содержащих до 30% твердого вещества с концентрацией вольфрама 0,03% и молибдена 0,025%. В жидкой осветленной фракции содержание вольфрама составляло 9 мг/л, молибдена 6,9 мг/л.

В р. Гижигит в природных условиях минимальные содержания взвеси в речных водах наблюдаются в зимнюю межень (преимущественно грунтовое питание рек), а максимальные – во время половодья; в зонах влияния горного производства резкое увеличение мутности может наблюдаться в зимние месяцы, когда заметно увеличивается доля сточных вод в речном стоку (рис. 8).

Воды р. Тырныауз и особенно ее правых притоков, дренирующих Тырныаузское вольфрамово-молибденовое месторождение, отличаются высокими уровнями молибденом [6, 34]. Так, в верховьях указанных водотоков были зафиксированы концентрации этого металла, варьирующиеся от 0,325 до 1,8 мг/л; достаточно высокими они оставались и в устьях

притоков (0,5–2,1 мг/л). В устье р. Тырнауз (выше места сброса фабричных вод) уровни Mo достигали ~ 0,5 мг/л. Наиболее высокие содержания его были обнаружены в пробах воды, отобранных в горных выработках (до 10–15 мг/л). Твердая часть различных стоков и сливов (т. е. взвесь) характеризуется присутствием очень высоких концентраций многих химических элементов (табл. 10).

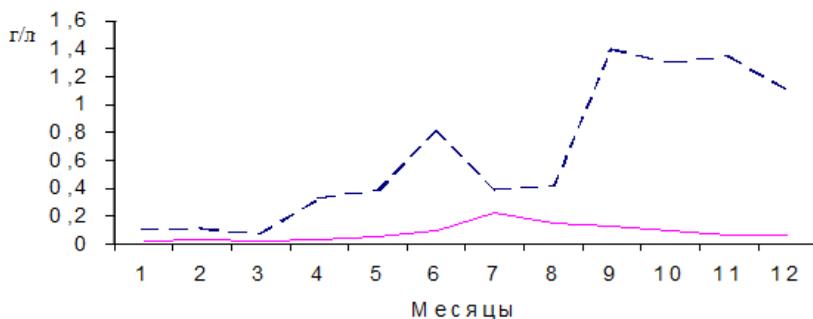


Рис. 8. Взвешенные вещества в воде р. Гижгит в зоне загрязнения (пунктир) и в фоновых условиях (сплошная линия).

Таблица 10

Геохимические ассоциации элементов в твердой части стоков ТГМК [24]

Источник (откуда – куда)	Порядок значений кларков концентрации элементов			
	10000–1000	1000–100	100–10	10–1
С обогатительной фабрики в хвостохранилище	Bi	Sb	Sn-W-Mo	Ge-Pb-Zn-Mn-Ag-Cu-Co-Nb-Cr-V-P
Из хвостохранилища в водоток	Bi	W-Sb-Sn	Mo-Zn	Ge-Mn-Pb-Cu-Nb-V-Sn-B-Zn-Cu-Cr
Из водотока в главную реку	Bi	Sb	W-Mo	V-Ag-P

Примечание. Распределение мышьяка и ртути не изучалось.

В пределах фоновых участков в русловом аллювии кларки концентрации химических элементов невелики (табл. 11). В геохимическую ассоциацию входят химические элементы, отражающие геохимическую специализацию горных пород (граниты и андезиты), слагающих водосборные территории. В зоне влияния горного производства в донных отложениях водотоков наблюдаются намного более интенсивные и более разнообразные по качественному составу геохимические аномалии. Особенно высок уровень накопления элементов в русловых отложениях на участке реки ниже поступления стоков из хвостохранилища. Ведущими элементами геохимических ассоциаций в донных отложениях закономерно являются главные металлы руд – W и Mo, в зоне влияния добычных работ значимы также Sn, Pb, V, Ga.

Геохимические ассоциации в речных отложениях бассейна Баксана [28]

Место	Порядок значений кластеров концентрации					
	>100	100-10	10-5	5-3	3-1	
Верховья Баксана	-	-	-	-	Pb-Ga-V-Sn-Mo-W-B	
Баксан, ниже добычи	-	W	-	Sn-Pb	V-Ga-Mo-Ag-Cu-B-Zn-La-Zr	
Баксан в черте г. Тырныауза	-	W-Mo	Sn	Pb	V-Ga-Cu-Ag-Zn-B-La-Zr-Co	
Баксан, участок город-хвостохранилище	W	Mo	-	Sn	Pb-V-Ag-Ga-Zr-Zn-B-La	
Баксан, 30 км ниже хвостохранилища	-	W	Mo	Sn	Pb-V-Ga-B-Ag-Zr	
Притоки вне зоны техногенеза	-	-	-	-	Pb-B-V-Sn-Ga-Mo	

Примечание: Распределение As, Bi, Sb и Hg не изучалось.

В механизме формирования техногенных потоков рассеяния прослеживается сезонность [24]. Так, степень накопления химических элементов в районе ТГМК в донных отложениях, особенно Mo, W, Sn, возрастала (в 8–14 раз) в зимнюю межень и снижалась в период весеннего половодья (рис. 9).

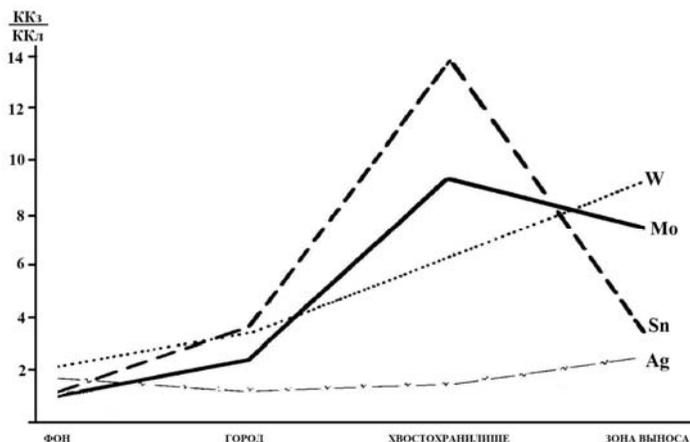


Рис. 9. Соотношение степени накопления металлов в донных отложениях р. Баксан в зимнюю межень и летнее половодье [28].

Во многом это связано с нарушением естественной годовой динамики стока наносов – резкое увеличение количества взвеси в речных водах ниже сброса стоков зимой (для рек ледникового питания содержание взвеси в водах зимой резко снижается) (рис. 10). В естественных (фоновых) условиях минимальные содержания взвешенных веществ в поверхностном стоке наблюдаются в период зимней межени (реки находятся на грунтовом питании), максимальные – во время паводков. Более благоприятные условия для накопления наносов и связанных с ними поллютантов создаются именно зимой, когда увеличение содержаний взвешенных веществ происходит на фоне снижения расхода воды и скорости течения реки.

Техногенные потоки рассеяния в руслах рек горнорудных районов могут простираться на значительные расстояния. Так, в Бурятии был установлен поток Mo, W, Au и других элементов, протяженностью более 200 км, что было обусловлено размывом хвостохранилищ и аварийными сбросами обогатительной фабрики [18]. За 30 лет разработки обогащения руд золото-кварцевого Ирокиндинского месторождения в отложениях р. Ирокинды сформировался поток рассеяния Au и Hg протяженностью более 15 км; в головной части потока присутствуют также Pb, Zn, As и другие элементы, входящие в состав руд [29]. Показательно, что техногенный поток золота (0,5–4 г/т) перекрыл природный с концентрацией Au в отложениях в пределах 0,008–0,2 г/т. Интенсивные и протяженные техногенные потоки химических элементов формируются в зоне влияния Алавердского горно-металлургического комбината (табл. 12).

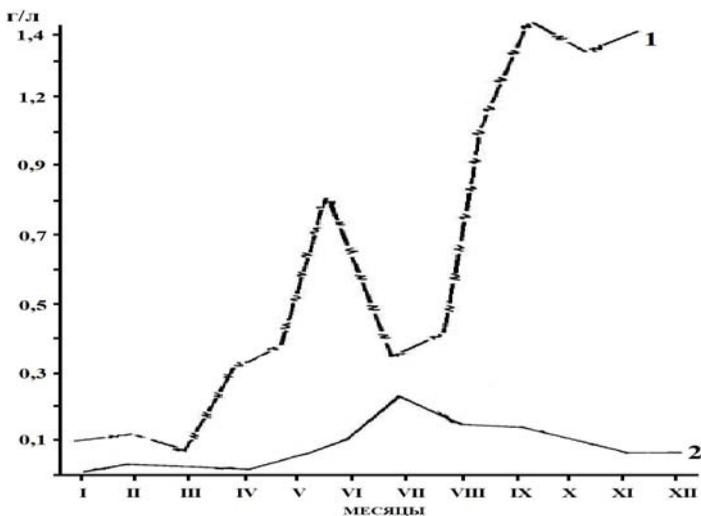


Рис. 10. Распределение взвешенных веществ в воде р. Баксан в зоне влияния ГОК (1) и в фоновом водотоке (2) [28].

Таблица 12

Средние содержания химических элементов в донных отложениях р. Дебед в районе Алавердского горно-металлургического комбината, мг/кг (по данным ИМГРЭ)

Элемент	Выше комбината	Ниже комбината
Медь	120	1891
Цинк	200	1600
Мышьяк	–	160
Молибден	2	22
Серебро	0,08	0,4
Кадмий	–	13
Сурьма	–	35
Свинец	40	292
Висмут	–	1,6

В данном случае высокий уровень загрязнения русловых отложений прослеживался от комбината на всем изученном участке русла р. Дебед (примерно 40 км) и фиксировался дальше, уже в пределах Грузии. При этом, если на участке реки от г. Кировокана до г. Алаверди значения Zc в донных отложениях редко превышали 16, то ниже комбината (на 3-км участке) они достигали 1100, затем резко снижались до 128 и варьировались на изученном 40-км отрезке русла Дебета в пределах 128–256 единиц.

Высокие уровни содержания целого ряда химических элементов отмечены в техногенных илах р. Карагайлы (Башкирское Зауралье) в зоне влияния эксплуатируемых полиметаллических медно-цинковых и никель-кобальтовых месторождений [17] (табл. 13).

Химические элементы в техногенных илах р. Карагайлы, мг/кг ($n = 17$) [17]

Элемент	Илы		Кларк литосферы	Коэффициент концентрации
	мг/кг	V, %		
Co	39	51	18	2,2
Ni	48	75	58	0,8
Zn	3622	62	87	72,1
Cu	4797	89	47	102,0
Mn	980	46	1000	0,98
Cr	70	73	83	0,8
Pb	118	174	16	7,4
As	244	62	1,7	143,5
Cd	19	128	0,13	146,2
Hg	2,44	85	0,083	2939

Существенным уровнем загрязнения отличаются районы бывших (древних и старых) горных разработок. Например, мутность воды р. Ред Ривер, дренирующей старинные разработки олова на полуострове Корнуолл (Англия), достигала 30 г/л; взвесь обогащена Fe_2O_3 (до 10%) и содержала в повышенных концентрациях целый ряд химических элементов, в том числе, рубидий (187 мг/кг), кобальт (41), медь (992), мышьяк (10000) и олово (2000 мг/кг) [49].

Сравнительная оценка распределения химических элементов в рудогенных и техногенных потоках рассеяния в донных отложениях водотоков показывает, что техногенные потоки по уровням содержания элементов и протяженности аномалий не только не уступают, но часто значительно превосходят рудогенные (табл. 14).

А.Ю. Опекунов показал, что в горнорудных районах в зонах техногенеза происходит трансформация баланса форм нахождения химических элементов в донных отложениях рек (табл. 15). Так, если в природных условиях явно доминируют устойчивые, прочносвязанные формы изученных металлов, то в условиях загрязнения существенно возрастает доля их более подвижных, геохимически активных форм (прежде всего, за счет увеличения количества обменных, в меньшей степени карбонатных форм и форм, связанных с органическим веществом). Это свидетельствует о возрастании геохимической активности металлов и об увеличении значимости донных отложений как вторичного источника загрязнения водной массы и биоты.

Исследования форм нахождения элементов в донных отложениях водотоков и почвах Прииртышском районе Рудного Алтая, где более 200 лет осуществляются добыча и переработка минерального сырья, позволило установить следующие признаки техногенного загрязнения [31]: а) обилие токсикантов в виде фаз чистых металлов, б) структурные особенности минералов, выраженные в образовании неустойчивых, слабо сконденсированных, коллоидных агрегатов, разрушающихся под воздействием электронного пучка, в) морфологические особенности, проявленные в нехарактерных для природных выделений образованиях (волосовидные, спутанно-волокнистые), г) наличие минералов и других выделений, имеющих техногенную природу. Особенно показательное существенное накопление меди, цинка и свинца в техногенных аномалиях (почвы и донные отложения) в формах, связанных с оксидами марганца и железа, органическим веществом, абсолютные концентрации которых в десятки и сотни раз превышали фоновые уровни. Для почв и донных (руслых) отложений в зоне загрязнения было также характерно высокое содержание карбонатных и ионообменных форм.

Уровни содержания металлов в донных отложениях рек рудогенных и техногенных районов, мг/кг
(обобщение литературных данных [24])

Месторождения и предприятия	Pb	Zn	Cr	Ni	Ag
	Рудные месторождения				
Полиметаллические, Вост. Забайкалье	30–300	100–2500	–	–	–
Полиметаллические, Сев. Тянь-Шань	200–300	2000–3000	–	–	–
Железорудные, Сев. Тянь-Шань	–	–	1000–3000	500–2000	–
Сульфидные, Алтай	200	300	–	–	30
Олово-рудные, Сихотэ-Алинь	60–300	1000–3000	–	–	30
Полиметаллические	100–2000	100–5000	10–100	10–100	–
	Техногенные источники				
Горнодобывающие предприятия, Сев. Айдахо	300–6300	3200–4700	–	–	6–15
Рудник по добыче цинка и свинца, Польша	1200	10000	58	50	–
Горно-обогатительная фабрика, Польша	420	10000	58	26	–
Горно-обогатительная фабрика, полиметаллические руды, Сев. Осетия	до 2500	до 15000	–	–	–

Формы нахождения металлов в донных отложениях р. Карагайлы, Баймакский рудный район (Южный Урал), по данным [17]

Металл	Место	Форма нахождения, % от валового содержания *					
		1	2	3	4	5	6
Кадмий	Фон	2,2	37,6	0,0	0,0	0,0	60,6
	Техногенез	38,6	16,6	40,3	2,1	2,4	0,0
Кобальт	Фон	0,6	10,8	0,6	0,6	1,3	86,2
	Техногенез	8,8	21,6	41,4	6,6	2,9	18,8
Марганец	Фон	4,1	6,1	1,7	0,8	1,1	86,2
	Техногенез	23,3	6,0	8,2	3,3	3,4	55,8
Медь	Фон	0,2	2,5	2,7	0,1	0,9	93,6
	Техногенез	2,9	20,8	58,7	1,9	3,9	11,8
Свинец	Фон	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100
	Техногенез	0,0	0,3	2,8	0,0	8,6	88,3
Никель	Фон	0,3	5,3	0,7	0,4	2,3	90,9
	Техногенез	2,3	8,9	16,5	13,8	9,8	48,3
Цинк	Фон	0,1	3,7	0,6	0,3	0,4	94,9
	Техногенез	7,3	27,3	20,5	3,7	1,6	39,7

* 1 – поверхностно-сорбированные (обменные), 2 – связанные с карбонатными минералами и легко разлагаемым органическим веществом, 3 – связанные с органическим веществом, 4 – сорбированные на гидроксидах железа и марганца, 5 – кристаллические, 6 – остаточные (силкатные).

Эмиссия и потери ртути при производстве первичного цинка на российских заводах в 2001 г. [40]

Предприятие	Масса Hg, поступившей с концентратами, т	Распределение ртути, т					свинцовый кек	медный кек
		в атмосфере	шлам	серная кислота	в канализацию	свинцовый кек		
Челябинский цинковый завод Электроцинк, Владикавказ	20	1,229	5,4	5	0,1	3	0,4	
	11	0,72	2,97	2,75	0,055	1,65	0,22	

Особо следует отметить, что предприятия по выплавке первичных цветных металлов, расположенные в горнорудных районах, являются важными источниками поступления в окружающую среду ртути, которая при обогащении руд цветных металлов переходит в концентраты (цинковый, медный, пиритный) и в их составе вовлекается в металлургический передел. Существенное количество ртути концентрируется в отходах обогащения, складываемых в районе обогатительных фабрик. Например, по оценке [40], в 2001 г. на российские предприятия по выплавке цинка, черновой меди, никеля и некоторых других цветных металлов с сырьем в общей сложности поступило более 60 т ртути. При используемых в стране технологических схемах переработки руд и концентратов цветных металлов попутная ртуть не извлекается, что обуславливает ее поступление в окружающую среду, в отходы, промпродукты и некоторую продукцию. В частности, общая эмиссия ртути только в атмосферу российскими предприятиями цветной металлургии оценивается примерно в 7,4 т, из которых около 2 т – при производстве цинка, более 1,9 т – при производстве черновой меди на уральских заводах, порядка 3,1 т – выбрасывается предприятиями ГМК «Норильский никель» (производство меди и никеля из сульфидных медно-никелевых руд) (табл. 16). Значительное количество ртути концентрируется в шламах сернокислотного производства цинковых (более 8,4 т) и медных (более 6,1 т) заводов, в свинцовом (4,7 т) и медном (более 0,6 т) кеке, образующемся на заводах по выплавке цинка, а также поступает (не менее 10 т в целом по стране) в производственную (техническую) серную кислоту, получаемую на некоторых отечественных предприятиях цветной металлургии.

Таким образом, горнодобывающая промышленность оказывает существенное влияние на миграцию химических элементов, которая проявляется в формировании интенсивных и протяженных геохимических аномалий в донных отложениях рек. В существенной мере это определяется поступлением в водотоки осадочного материала, обладающего специфическим химическим составом и обогащенного химическими элементами. Техногенное воздействие приводит к изменению природного (характерного для данного района) соотношения основных форм миграции металлов – взвешенной и растворенной, прежде всего, за счет увеличения доли взвешенных форм. При удалении от источников воздействия наряду с общим снижением концентрации металлов подобные нарушения сглаживаются, главным образом, за счет более интенсивного выведения из потока взвешенного материала. Протяженность потоков рассеяния во взвешенной форме для горнодобывающих и металлургических предприятий составляет 20–30 км, в растворенных формах намного меньше. Именно за счет высоких концентраций и значительных масс взвешенных форм элементов и происходит образования интенсивных и протяженных геохимических аномалий в донных отложениях рек. В зонах влияния геологоразведочных работ и добывающих предприятий, где качественный состав техногенных источников в принципе адекватен рудогенным, соотношение между химическими элементами в рядах концентрации в донных отложениях меняется, а общий уровень их накопления в техногенных потоках значительно выше, нежели в рудогенных. В горнорудных и горнопромышленных районах в донных отложениях водотоков фиксируются интенсивные, комплексные по составу, устойчивые и протяженные по руслу техногенные геохимические аномалии (техногенные потоки рассеяния). Степень концентрирования химических элементов значительно превышает таковую в природных (рудогенных) аномалиях. Количественные соотношения между химическими элементами в техногенных

геохимических ассоциациях совершенно иные, чем в природных (рудогенных). Очень часто степень концентрирования сопутствующих химических элементов (элементов-примесей) в донных отложениях техногенно загрязненных рек выше, нежели главных компонентов добываемых и перерабатываемых руд. В формировании техногенных геохимических аномалий существенную роль играют пылевые выбросы в атмосферу, отвалы горных пород и хвостохранилища, определяющие состав поверхностного (талого и дождевого) стока с территории горнорудных районов. Уровни содержания многих химических элементов в шламах, взвеси сточных вод, донных отложениях рек интенсивно освоенных горнорудных районов не уступают их концентрациям в рудах. Если в фоновом русловом аллювии доминируют устойчивые, прочносвязанные формы химических элементов, то в условиях загрязнения в донных отложениях рек заметно возрастает доля их более подвижных, геохимически активных форм. Масштабы загрязнения существенно увеличиваются в следующем ряду источников воздействия: «геологоразведочные работы – добыча руд – их обогащение – переработка руд». Протяженность техногенных потоков рассеяния в донных отложениях рек горнорудных районов достигает десятком километров. Элементный состав техногенных геохимических ассоциаций и значения суммарного показателя Z_c свидетельствуют о чрезвычайно высоком уровне техногенного загрязнения рек изученных горнорудных ландшафтов. Предприятия по выплавке первичных цветных металлов, расположенные в горнорудных районах, являются важными источниками поступления в окружающую среду ртути, которая при обогащении руд цветных металлов переходит в концентраты (цинковый, медный, пиритный) и в их составе вовлекается в металлургический передел

Литература

1. *Абаев С.М., Басаев Б.Б.* Водные ресурсы Северной Осетии и их использование. – Орджоникидзе: Ир, 1985. – 83 с.
2. *Аржанова В.С., Елътьевский П.В.* Геохимия ландшафтов и техногенез. – М.: Наука, 1990. – 198 с.
3. *Бартников Н.С., Гурбанов А.Г., Богатиков О.А. и др.* Оценка воздействия захороненных промышленных отходов Тырныаузского вольфрам-молибденового комбината на экологическую обстановку (почвенно-растительный слой) прилегающих территорий Приэльбрусья (Кабардино-Балкарская Республика, Россия) // *Геоэкология*, 2013, № 5, с. 405–416.
4. *Вернадский В.И.* Геохимия марганца в связи с учением о полезных ископаемых // *Труды Конференции по генезису руд железа, марганца и алюминия.* – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937, с. 229–246.
5. *Виноградов А.П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // *Геохимия*, 1962, № 7, с. 565–571.
6. *Виноградов В.И.* О миграции молибдена в зоне гипергенеза // *Геохимия*, 1957, № 2, с. 120–126.
7. *Геология и окружающая среда: Международное руководство в трех томах: Т. 2: Добыча полезных ископаемых и геологическая среда.* – М.: Внешторгиздат, 1990. – 260 с.
8. *Геология свинцово-цинковых месторождений Кавказа и закономерности их размещения.* – М.: Гостеолтехиздат, 1962. – 165 с.

9. Доклад об экологической ситуации в Республике Северная Осетия-Алания в 2016 году. – Владикавказ: Министерство природных ресурсов и экологии Республики Северная Осетия – Алания, 2017. – 107 с.

10. *Дребенштетт К., Голик В.П., Разоренов Ю.П.* История и перспективы выщелачивания металлов в РСО-Алания // Устойчивое развитие горных территорий, 2014, №4, с. 9–14.

11. *Исмаилов Т.Т., Голик В.П., Дольников Е.Б.* Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых. – М.: Издательство МГТУ, 2008. – 331 с.

12. *Камбалов А.Н.* Формирование хвостохранилищ обогатительных фабрик // Научный альманах, 2015, № 8 (10), с. 1201–1203.

13. *Колотов Б.А.* Прогноз экологической опасности при разработке рудных месторождений // Экология и экономика природопользования. Тез. докл. науч.-прак. конф. – М., 1995, с. 67–68.

14. *Колотов Б.А., Янин Е.П., Калугин Д.Е.* Проблемы геоэкологии рудных районов в зонах взаимодействия литосферы и гидросферы // CD-ROM: Всерос. съезд геологов и науч.-прак. Геологическая конференция «Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века. Тез. докл. Кн. 4. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2000, с. 330–331.

15. *Аурье П.М.* Водные ресурсы и водный баланс Кавказа. – СПб.: Гидрометеондат, 2002. – 506 с.

16. *Ляхович В.В.* Связь оруденения с магматизмом (Тырныауз). М.: Недра, 1976. – 336 с.

17. *Опекунов А.Ю.* Аквальный техноседиментогенез. – СПб.: Наука, 2005. – 278 с.

18. *Перельман А.П.* Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.

19. *Пхалагова Д.М.* Формирование химического состава высокогорных рек Центрального Кавказа. – Орджоникидзе: Северо-Осетинское кн. изд-во, 1957. – 115 с.

20. *Пэк А.В.* Геологическое строение рудного поля и месторождения Тырныауз. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. – 168 с.

21. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. – Л.: Гидрометеондат, 1973. – 447 с.

22. *Родзянко Н.Г., Нефедов Н.К., Свириденко А.К.* Редкометалльные скарны Тырныауза. – М.: Недра, 1973. – 215 с.

23. *Сает Ю.Е.* Методические основы эколого-геохимических исследований при геологоразведочных работах // Разведка и охрана недр, 1986, № 5, с. 35–39.

24. *Сает Ю.Е., Опищенко Т.А., Янин Е.П.* Методические рекомендации по геохимическим исследованиям для оценки воздействия на окружающую среду проектируемых горнодобывающих предприятий. – М.: ИМГРЭ, 1986. – 99 с.

25. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

26. *Сает Ю.Е., Янин Е.П., Алексинская Л.Н.* Геохимические критерии различия рудных и антропогенных потоков рассеяния в поверхностных водотоках // Гидрогеохимические методы поисков рудных месторождений и прогноза землетрясений (Мат-лы Второго междунар. симп. «Методы прикладной геохимии»). – Новосибирск: Наука, 1983, с. 87–95.

27. *Семенов Ю.Н.* Геохимические методы при изучении техногенных аномалий в районах хвостохранилищ свинцово-цинкового комбината (на примере Горной Осетии) // IV-й Объединенный Междунар. симп. по про-

блемам прикладной геохимии, посв. памяти акад. Л.В. Таусона. Тезисы. Т. 2. – Иркутск, 1994, с. 91–92.

28. *Сорокина Е.П., Янин Е.П., Авесаломова И.А. и др.* Разработка геохимической основы методики изучения загрязнения окружающей среды химическими элементами в условиях Европейской части СССР. Отчет по теме XI Д.1.2/002(4) ПП/233. В 3 т. Т. 3. – М.: ИМГРЭ, 1983, с. 1–83.

29. *Тайсаев Т.Т.* Техногенные ландшафты и потоки рассеяния рудно-россыпных месторождений Забайкалья // IV Объединенный Междунар. симп. по пробл. прикл. геохимии, посв. памяти акад. Л.В. Таусона. Тезисы. Т. 2. – Иркутск, 1994, с. 99–100.

30. *Токарев П.В., Тимошкин Г.А.* Эколого-геохимическая оценка влияния геологоразведочных работ на окружающую среду. Отчет по производственным работам ПР-128 за 1982–1985 гг. – Н. Бираганг: ЦОМГЭ ИМГРЭ, 1985. – 290 с.

31. *Тюленева В.М., Сидоренко Г.А., Кривоконева Г.К. и др.* Минеральные формы токсикантов – важный критерий в выявлении признаков техногенного загрязнения потоков рассеяния // Минералогические исследования в решении экологических проблем: Тр. конф. по экминералогии, 29–30 января 1996 г. – М.: ИГЕМ РАН, 1998, с. 73–88.

32. *Фекличев В.Г.* Принципы типизации горнорудных и сопутствующих производств крупного региона в целях эколого-геохимического картирования (на примере Кольского полуострова) // Геоэкологические исследования и охрана недр, вып. 1. – М.: Геоинформмарк, 1994, с. 24–33.

33. *Филиппова Л.А.* Потоки рассеяния в речной мути и использование их при поисковых работах // Ежегодник-1973 Ин-та геохимии СО АН СССР. – Новосибирск: Наука, 1974, с. 267–169.

34. *Хаустов В.В.* Об очистке жидких отходов ГОКов природными сорбентами (на примере одного из скарных месторождений Северного Кавказа) // Физические процессы горного производства: Тез. докл. 10 Всес. науч. конф. вузов СССР с участием НИИ. – М.: МГИ, 1991, с. 198–200.

35. *Хаустов В.В., Дубяга А.П.* О влиянии разработки месторождения Тырнауз на водную экосистему реки Баксан (биохимический аспект) // Изв. Юго-Западного гос. ун-та. Сер. Техника и технологии, 2012, № 2, ч. 2, с. 228–235.

36. *Черницин В.Б., Андрушук В.А., Рубцов Н.Ф.* Металлогенические зоны Центрального и Северо-Западного Кавказа. – М.: Недра, 1971. – 208 с.

37. *Янин Е.П.* Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. – М.: Геоинформмарк. 1993. – 50 с.

38. *Янин Е.П.* Добыча и производство ртути в СНГ как источник загрязнения окружающей среды // Эколого-геохимические проблемы ртути. – М.: ИМГРЭ, 2000, с. 38–59.

39. *Янин Е.П.* Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 52 с.

40. *Янин Е.П.* Эмиссия ртути в окружающую среду предприятиями цветной металлургии России // Экологическая экспертиза, 2004, № 5, с. 41–101.

41. *Янин Е.П.* Источники и особенности загрязнения речных систем в горнорудных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2005, № 1, с. 2–33.

42. *Янин Е.П.* Возможные подходы к оценке техногенного загрязнения при интерпретации геохимических аномалий в горнорудных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды, 2008, № 4, с. 58–87.

43. Янин Е.П. Экологическая геохимия, техногенез и проблемы недропользования в горнорудных районах // Экономика природопользования, 2010, № 4, с. 55–59.

44. Янин Е.П., Кашина Л.П., Тимошкин Г.А., Токарев И.В. Геохимические особенности потоков рассеяния химических элементов в горнодобывающих районах // Геохимия техногенеза, ч. II. – Иркутск: СибГЕОХИ, 1985, с. 108–111.

45. Янин Е.П., Тимошкин Г.А. Техногенные потоки рассеяния химических элементов в зоне влияния предприятий по добыче и обогащению полиметаллических руд // Геохимия ландшафтов (Тез. докл. Всес. сов.). – Новосибирск, 1986, с. 146–148.

46. Янин Е.П., Тимошкин Г.А. Техногенные потоки рассеяния химических элементов в поверхностных водотоках горнопромышленных ландшафтов // Биогеохимические методы при изучении окружающей среды. – М.: ИМГРЭ, 1989, с. 37–44.

47. Applied Environmental Gechemistry. – Academic press geol. series. – London, 1983. – 342 p.

48. Jennett J.C., Wixson B.G. Geochemistry, mining and the Environment // Miner. and Environ., 1983, 5, № 2–3, p. 39–53

49. Morris R.J., McCartney M.J., Lockyer C., Hoborn R. The particulate load of the Red River, St Ives Bay: Its geochemical composition and the effect of its discharge plume on the behaviour of a resident wild dolphin // Marine Pollution Bulletin, 1985, 16, № 3, p. 106–108.

50. Nath R.L. Mining and the Environment – Aspects and Options. (Part II) // Indian Mining and Eng. J., 1982, 21, № 5, p. 22–26