

УДК 504

А. А. Казикова,факультет естествознания, географии и туризма,
Ленинградский государственный университет им. А. С. Пушкина
Научный руководитель: канд. геогр. наук, доц. С. В. Писаренко

Оценка воздействия хвостов обогащения на поверхностные воды (на примере реки Сергевань)

Аннотация. Статья посвящена анализу механизмов поступления загрязняющих веществ с хвостохранилища Ловозерского горно-обогатительного комбината (ГОКа) в поверхностные воды (на примере реки Сергевань). Определен вклад выщелачивания отходов в формирование хронического загрязнения водного объекта. Проанализированы среднегодовые концентрации молибдена, меди, алюминия и фторидов. Рассчитан индекс загрязнения воды, подтверждающий критическое состояние водотока. Обоснована общепланетарная значимость проблемы загрязнения среды отходами добычи редкоземельных металлов.

Ключевые слова: хвосты обогащения, лопаритовые руды, редкоземельные металлы, выщелачивание, загрязнение поверхностных вод, индекс загрязнения воды, река Сергевань, Ловозерский ГОК.

Освоение месторождений стратегических редкоземельных металлов (РЗМ) во всем мире сопровождается образованием значительных объемов токсичных отходов, загрязняющих природные воды тяжелыми металлами, фторидами и радиоактивными веществами [4]. Данная проблема носит общепланетарный характер и остро проявляется в ключевых странах-производителях РЗМ — Китае, США, Австралии. В Российской Федерации аналогичные вызовы возникают на Ловозерском горно-обогатительном комбинате (ГОК), единственном предприятии, перерабатывающем лопаритовые руды Ловозерского массива. Здесь извлечение ценных компонентов неизбежно приводит к накоплению массивных промышленных отходов, которые оказывают многолетнюю нагрузку на арктические экосистемы Кольского полуострова. Таким образом, научная проблема требует комплексной эколого-геохимической оценки поведения специфичных загрязнителей в хвостах обогащения, механизмов их выщелачивания и миграции в поверхностные водотоки.

Конкретным объектом, позволяющим проследить указанные механизмы, выступает район деятельности ООО «Ловозерский ГОК». В этой связи особенно актуален опыт предприятия, где ведется добыча и обогащение лопаритовых руд на руднике «Карнасурт». В состав руд входят лопарит и эвдиалит, однако обогащение неизбежно ведет к образованию огромных объемов отходов. Складирование хвостов осуществляется в хвостохрани-

лище, которое наряду с промышленной площадкой является основным источником эмиссии загрязняющих веществ. Река Сергевань, входящая в водосборную систему озера Ловозеро, непосредственно принимает фильтрационные, ливневые и талые стоки с территории этих объектов [1; 2]. Специфика экологической нагрузки определяется геохимией сырья: элементами-спутниками выступают фтор, молибден, медь и алюминий [4].

Поступление этих веществ в водоток, а затем в реку Сергевань запускает каскад негативных экологических последствий для водной экосистемы. Повышенные концентрации молибдена и меди токсичны для ихтиофауны, они вызывают гибель кормового бентоса и нарушение репродуктивной функции рыб, что критично для водоемов рыбохозяйственного значения [2]. Высокое содержание фторидов представляет прямую угрозу здоровью местного населения, использование загрязненной воды провоцирует заболевания опорно-двигательного аппарата [4]. Алюминий в кислой среде образует токсичные соединения, угнетающие фитопланктон — первичное звено пищевой цепи. Таким образом, многолетнее загрязнение коррелирует с общей деградацией речной биоты и создает эффект «химической бомбы замедленного действия» в донных отложениях.

Фактические данные гидрохимического мониторинга полностью подтверждают эти выводы. Анализ мониторинговых данных за многолетний период выявляет устойчивую негативную тенденцию. По данным Доклада о состоянии окружающей среды

Мурманской области за 2024 г., в воде реки Сергевань зафиксированы: один случай экстремально высокого и два случая высокого загрязнения молибденом; алюминий и цинк превышали предельно допустимую концентрацию (ПДК) в 100 % проб, а медь, молибден и фториды — в 83 % проб [1]. Среднегодовые концентрации составили: медь — 3 ПДК, молибден — 3 ПДК, алюминий — 3 ПДК, фториды — 2 ПДК [1]. В марте 2026 г. наблюдалось обострение ситуации: рост алюминия до 15 ПДК, молибдена — до 3 ПДК [5]. Сравнение с показателями 2019 г. доказывает хронический характер поступления загрязнителей: уже тогда среднее содержание молибдена составляло 3 ПДК, меди — 2 ПДК, фторидов — 4 ПДК [2]. Ключевой причиной стабильно высоких концентраций признано выщелачивание хвостов атмосферными осадками и поступление фильтрационных вод с полей хвостохранилища.

Лабораторные эксперименты дают однозначное обоснование этому механизму. Экспериментальные данные, полученные А. А. Горячевым, Е. А. Красавцевой и другими исследователями, однозначно подтверждают результаты гидрохимического мониторинга. При лабораторном выщелачивании проб хвостов обогащения лопаритовых руд дистиллированной водой концентрация фтор-ионов уже через один час достигала 6,80 мг/дм³, что составляет 9,1 ПДК для водных объектов рыбохозяйственного значения [4]. Это объясняет стабильно высокое содержание фторидов в реке Сергевань вне зависимости от сезона и доказывает, что хвостохранилище является мощным постоянно действующим источником загрязнения. Важно подчеркнуть, что данная тенденция универсальна: для зарубежных объектов по добыче РЗМ также характерно повсеместное накопление токсикантов в донных отложениях и воде [4]. При этом эффективная удельная активность природных радионуклидов (радий-226, торий-232, калий-40) в хвостах составляет 646-1300 Бк/кг, что относит отходы

к допустимым к размещению на полигонах промышленных отходов без ограничений по радиационному фактору [4]. Следовательно, радиационная опасность хвостов минимальна, а основным доказанным экологическим риском выступает химическое загрязнение водных объектов.

Количественным подтверждением критического состояния водотока служит расчет интегрального показателя. Для интегральной оценки качества воды реки Сергевань был рассчитан индекс загрязнения воды (ИЗВ) по формуле:

$$\text{ИЗВ} = (1/n) \times \sum (C_i / \text{ПДК}_i),$$

где ИЗВ — индекс загрязнения воды;

n — количество учитываемых показателей ($n = 3$: медь, фториды, взвешенные вещества);

C_i — фактическая среднегодовая концентрация i -го загрязняющего вещества в воде реки Сергевань (для меди — 5 ПДК, фторидов — 2,13 ПДК, взвешенных веществ — 1,67 ПДК);

ПДК_i — предельно допустимая концентрация i -го вещества для водных объектов рыбохозяйственного значения (для меди — 0,001 мг/дм³, фторидов — 0,75 мг/дм³, взвешенных веществ — 0,25 мг/дм³) [3].

Полученное значение $\text{ИЗВ} = (5 + 2,13 + 1,67) / 3 = 2,93$ позволяет классифицировать воду реки Сергевань как «грязную» (IV класс качества), что соответствует критическому уровню загрязнения и требует неотложных природоохранных мероприятий.

Обобщая полученные результаты, можно заключить, что хвостохранилище лопаритовых руд является ключевой экологической проблемой не только Ловозерского ГОКа, но и всей мировой отрасли по добыче редкоземельных металлов. Тенденция к накоплению загрязнителей в донных отложениях и их последующей миграции по пищевым цепочкам прослеживается повсеместно — от Кольской Субарктики до рудных провинций Китая.

1. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2019 году. — Мурманск : Министерство природных ресурсов и экологии Мурман. обл., 2020. — 180 с.

2. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Мурманской области в 2024 году. — Мурманск : Министерство природных ресурсов, экологии и рыбного хозяйства Мурман. обл., 2025. — 198 с.

3. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 26 мая 2025 г. № 296. — [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1312976080> (дата обращения: 30.04.2026).

4. Оценка экологической опасности и возможности переработки хвостов обогащения лопаритовых руд / Горячев А. А., Красавцева Е. А. [и др.] // Экол. и пром-сть России. — 2020. — Т. 24, № 12. — С. 46–51.

5. Состояние загрязнения поверхностных вод суши за март 2026 // Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды : [сайт]. — URL: [https://kolgimet.ru/monitoring-zagrzaznenija-okruzhajushchei-sredy/sostojanie-zagrzaznenija-poverkhnostnykh-vod-sushi-za-mart-2026/?type=0](https://kolgimet.ru/monitoring-zagrzaznenija-okruzhajushchei-sredy/sostojanie-zagrzaznenija-okruzhajushchei-sredy/sostojanie-zagrzaznenija-poverkhnostnykh-vod-sushi-za-mart-2026/?type=0) (дата обращения: 27.04.2026).