

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВКЛАДА КАТАСТРОФИЧЕСКИХ
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАСПРОСТРАНЕНИЕ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОСЛЕ РАЗРАБОТКИ
ЛОВЧОРРИТОВЫХ РУД В ДОЛИНЕ ГАКМАНА, ХИБИНЫ,
КОЛЬСКИЙ П-ОВ**

**Е.В. Гаранкина, В.Р. Беляев, А.Л. Гуринов, Л.В. Добрыднева,
М.М. Иванов, Н.В. Кузьменкова, Ф.А. Романенко, Е.Д. Туляков**

Географический факультет, Московский государственный университет имени
М.В.Ломоносова, 119991, Ленинские горы, д.1. E-mail: evgarankina@gmail.com

Разработка месторождений рудных полезных ископаемых сопряжена с извлечением горной массы с высоким содержанием полезного компонента, часть которого не доходит до непосредственного производства и накапливается в отвалах. Если такие отвалы изолированы от ландшафтных процессов массо-энергопереноса либо рекультивируются, то они не представляют существенной экологической угрозы. Однако, если отработанный материал с высоким содержанием определённых компонентов, в особенности радиоактивных, оказывается вовлечённым в высоко динамичную природную обстановку, то возникает риск экологических последствий. Изучение этих последствий может нести в себе большую научную ценность, позволяя расширять методическую базу по изучению как миграции искоемых загрязнителей, так и процессов, задающих динамику вмещающей их среды.

В рамках нашего исследования рассмотрен рудник «Ловчоррпут» в долине Гакмана, расположенной в южной части Хибинского горного массива на Кольском полуострове. Открытие месторождения и добыча радиоактивной руды, где главными полезными компонентами служили оксиды редких металлов и тория-232, пришлось на 30-е годы XX века. Ловчорритовый рудник был устроен на правом борту долины в среднем течении одноименного ручья, где по зоне сгущения тектонической трещиноватости в эгирин-роговообманковые гнейсовидные рихторриты внедрились пегматитовые эгирин-полевошпатовые ловчоррит-ринколитоносные жилы. Главный рудный минерал ловчоррит – фторсодержащий титаносиликат кальция, натрия и редких земель, стекловатая или мелкокристаллическая разность ринколита, средняя проба которого на одном из участков здесь достигала 6,5 % [6]. Однако в силу сложных условий проведения работ (суровые климатические условия, активное развитие экзогенных геоморфологических процессов), отсутствия стабильных показателей концентрации ловчоррита в добываемой руде и чрезвычайной сложности технологического процесса обогащения, рудник был законсервирован в 1939 г., и добыча более не возобновлялась. Но до наших дней на правом борте долины сохранились рудные отвалы, обладающие высоким содержанием ^{232}Th и его дочерних радионуклидов.

В природных соединениях ^{232}Th имеет лишь одно состояние окисления IV, которое проявляет в своих ионных и ковалентных соединениях. Для тория не характерна миграция в растворенном состоянии. Почти все его минералы устойчивы к всевозможным природным воздействиям, и поэтому химические процессы не влияют на переотложение тория и не приводят к его концентрации в виде вторичных минералов [9]. Торий в горной тундре – наиболее инертный мигрант, хотя при этом не исключена и частичная водная миграция его изотопов [10]. Наблюдения в бассейне р. Илыч (Приполярный Урал) и лабораторные эксперименты [11, 12] показали, что под воздействием воды может выщелачиваться не более 20 % (в среднем около 2-3%) от содержания ^{232}Th в породе. В силу этого единственный значимый механизм его миграции – это механическое перемещение торий-содержащих частиц в процессе морфолитогенеза.

Хибинский горный массив – один из самых известных очагов катастрофических природных процессов в Субарктике [1, 8]. В ходе проведенных работ было детально изучено геоморфологическое строение долины Гакмана, уточнены границы распространения петрографических комплексов и созданы подробные морфометрические и морфодинамические карты и профили для определения условий и основных факторов перемещения рыхлого материала в пределах бассейна. Долину Гакмана окружают платообразные горы и гребни абсолютной высотой 800-1000 м (отроги Большого Юкспорра), возвышааясь над ее днищем на 150-350 м. Она названа А.Е. Ферсманом в 1921 г. [5] в честь финского петрографа Виктора Акселя Гакмана (1869-1941 гг.), участника экспедиции Вильгельма Рамзая на Кольский полуостров в 1891-1892 гг. Верхняя часть ее водосбора лежит в области распространения трахитоидных фойейтов, частично ороговикованных [3, 4]. Ниже долина последовательно пересекает полосы гнейсовидных и массивных рихсчорритов, вмещающих жилы и дайки щелочных габброидов и базальтоидов, апатито-нефелиновых руд, приконтактовую зону ийолит-уртитов в устьевой части.

Ручей Гакмана имеет длину около 5 км и уклон около 100 м/км (10 %). Верховья представляют собой типичный эрозионный врез от U- до V-образной формы (рис. 1); в средней части долина резко поворачивает, в ней появляется широкое днище. Выше оно выстлано преимущественно селевыми отложениями грубого песчано-валунно-глыбового состава, а ниже днище вновь V-образной долины заполнено комплексом мощных ледниковых (моренные валунные пески и супеси, водноледниковые пески с валунами и озёрно-ледниковые песчано-алевритовые осадки с ленточноподобной слоистостью), селевых и склоновых толщ. Нижнее течение полностью потеряло естественный облик за долгие годы обустройства сооружений рудника Расвумчорр (начал работу в середине 1950-х гг.) и при строительстве противоселевых плотин для его защиты.

Крутые борта и значительный уклон днища превращают долину Гакмана в арену действия интенсивных экзогенных процессов, среди которых гравитационные (осыпи и обвалы), эрозия (речная и склоновая), солифлюкция, дефляция, а особенно – периодически проходящие по долине катастро-

фические по мощности водоснежные потоки (ВСП). Эта разновидность селей [7], наряду с лавинами, является наиболее опасным современным явлением в регионе, с точки зрения наносимого ими материального ущерба. Перерабатывая отвалы рудника на протяжении последних 80 лет, этот комплекс процессов может перераспределять содержащиеся в них радионуклиды между разными фациями рыхлых отложений, что может стать причиной радиоактивного загрязнения долины. Ее сравнительно небольшие размеры и обособленность позволяют рассмотреть процесс миграции радионуклидов при наличии антропогенного вмешательства.

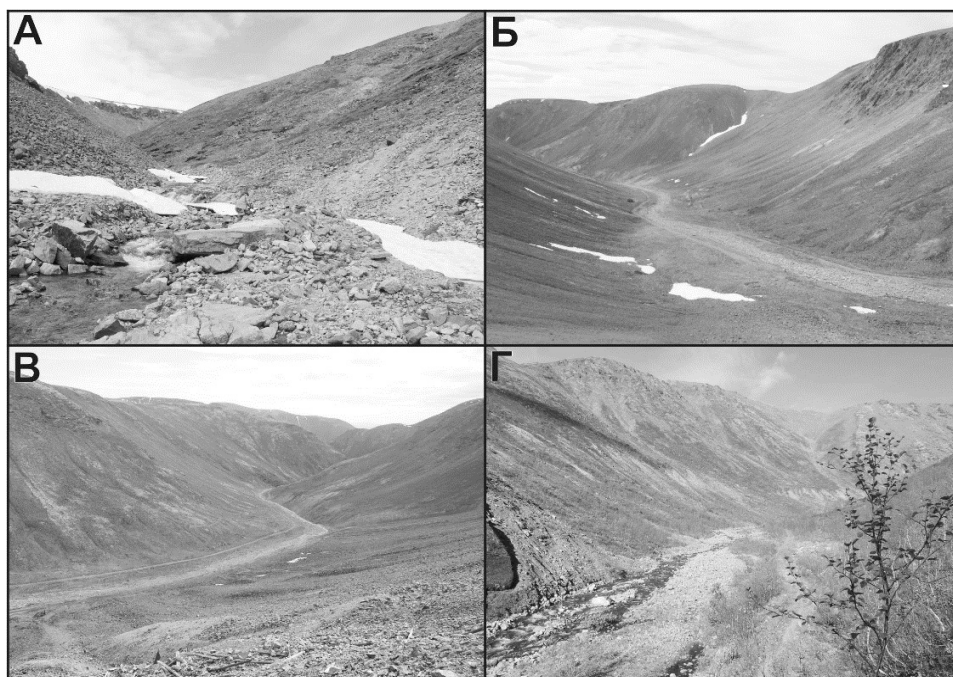


Рис. 1. Исследованные участки в долине Гакмана:

А – верховья; *Б, В* – выше и ниже рудных отвалов «Ловчоррпута»; *Г* – устьевая зона

ВСП зарождаются весной в периоды активного снеготаяния в результате пересыщения водой снежной массы в удобных для этого геоморфологических условиях и ее срыва с прохождением по склонам и днищу бассейна. В отличие от типичных лавин и селей ВСП обладают относительно низким (не более 12%) содержанием обломочного материала [3]. Катастрофические сходы ВСП в долине Гакмана зафиксированы в 1951 или 1952, 1977, 1987 и в начале 1990-х гг. Участки аккумуляции ВСП по облику похожи на конусы выноса временных водотоков. Они имеют конусообразную форму, если образуются в месте выхода потока на участки с меньшими уклонами, или валооб-

разно вытянуты вдоль русла, если, находясь на перегибе продольного профиля, оказываются зажатыми между скальными стенками. Значительная мощность и довольно высокая повторяемость ВСП в долине Гакмана (раз в одно-два десятилетия), обуславливают практическое отсутствие чисто русловых форм и препятствуют развитию нормального флювиального процесса, что позволяет рассматривать ВСП как ведущий рельефообразующий процесс и основной агент перераспределения материала в днище.

Для оценки степени воздействия антропогенного радиоактивного «сигнала» на современное распределение радиоизотопов ториевого ряда в бассейне Гакмана следовало решить три основные задачи:

1. Оценить силу «сигнала», сопоставив удельное содержание радионуклидов в рудных отвалах с их содержанием в склоновом чехле на участках распространения разных геологических комплексов в долине;

2. Определить рубежи зон отсутствия и потенциального воздействия «сигнала», с помощью крупномасштабной геоморфологической съёмки устанавливая положение морфолитодинамических зон и выбирая контрольные участки отбора образцов для лабораторного анализа;

3. На основе полученных данных оценить влияние отвалов ловчорритового рудника на радиоактивную обстановку в долине Гакмана.

В основе предлагаемой методики лежит использование неоднородности геологического строения селевых бассейнов, то есть наличия в их пределах участков распространения горных пород с существенно различным содержанием этих изотопов. Фактически, это адаптация классического метода определения питающих провинций для малых водосборных бассейнов путем оценки вариабельности радиоизотопного состава отложений зон сноса и аккумуляции.

В результате двухлетних работ отобрано более 70 образцов поверхностного рыхлого (относительно тонкие фракции – преимущественно гравий, дресва, песок и алевроито-глинистая составляющая) и более 20 образцов скального грунта по поперечным профилям с бортов (коренных выступов, денудационных и аккумулятивных частей склонов) и днищ долин (подмываемых берегов и русел водотоков, конусов выноса малых эрозионных форм) в разных зонах (зарождения селевых потоков, транзита и аккумуляции). В лаборатории на полупроводниковом гамма-спектрометре СКС-07П(09П)_Г_Р измерена их гамма-активность для дочерних радиоизотопов ^{232}Th : актиния – 228: (^{228}Ac) и свинца – 212 (^{212}Pb), проведен гранулометрический анализ проб. Дополнительно для изучения возможности иных путей миграции радиоизотопов (химической при выщелачивании пород водным потоком и т.д.) опробована вода из русла, буровых скважин и снежников и определены ее химические свойства и потенциальная способность к выщелачиванию.

На текущем этапе проведённые исследования показали, что в долине ручья Гакмана поступление со склонов дочерних гамма-детектируемых радиоизотопов ториевого радиоактивного ряда контролируется не только наличием рудника, но высокой естественной радиоактивностью пород, слагаю-

щих главным образом правый борт долины в её среднем течении. Роль ВСП заключается в эпизодическом мощном выносе материала по долине и его постоянном перемешивании, что подтверждается соотношением содержания радионуклидов в отложениях днища и прилегающих склонов. Деятельность постоянного водотока в днище сводится к вымыванию тонких фракций рыхлого материала, который, как показали первые результаты пофракционного анализа склоновых отложений, вносит наиболее существенный вклад в общую радиоактивность проб.

Анализ содержания радиоизотопов в разных фациях отложений на выбранных участках позволяет проследить распределение радиоактивного сигнала по долине и определить вклад рудника «Ловчоррпут» в изменения радиационной обстановки по сравнению с естественным фоном. Таким образом, представляется возможным оценить экологические риски в районах добычи радиоактивных торий-содержащих пород в горных условиях Субарктики. А также подобные радиоизотопные исследования могут позволить проникнуть глубже в понимание соотношения флювиальных процессов и деятельности ВСП при формировании рельефа днищ и склонов субарктических горных долин в низкогорьях. Подтвержден потенциал использования дочерних изотопов ^{232}Th в качестве трассера при решении литодинамических и геоморфологических задач при реконструкции интенсивности перемещения рыхлого материала экзогенными процессами.

Работы выполнены по теме госзадания АААА-А16-11632810089-5 «Эволюция природной среды, динамика рельефа и геоморфологическая безопасность природопользования» при поддержке проектов РФФИ №14-05-00549 и №17-05-00630.

Литература

1. Беляев Ю.Р., Бредихин А.В., Лукашов А.А. Эколого-геоморфологическая безопасность проектируемых промышленных автодорог в Хибинах // Геориск. – 2015. – № 2. – С. 50-57.
2. Водоснежные потоки Хибин / Под ред. А.Н. Божинского, С.М. Мягкова. – М.: Географический факультет МГУ, 2001. – 167 с.
3. Геология рудных районов Мурманской области / Пожиленко В.И., Гавриленко Б.В., Жиров Д.В., Жабин С.В. – Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2002. – 359 с.
4. Зак С.И., Каменев Е.А., Минаков Ф.В., Арманд А.Л., Михеичев А.С., Петерсилье И.А. Хибинский щелочной массив. – Л.: Недра, 1972. – 176 с.
5. Кошечкин Б.И. Тундра хранит след. – Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 1979. – 152 с.
6. Красоткин И.С., Лесков А.Л., Войтеховский Ю.Л., Шпаченко А.К. Бурное прошлое ущелья Гакмана // Петрология и минералогия Кольского региона. Труды V Всероссийской Ферсмановской научной сессии, посвященной 90-летию со дня рождения д.г.-м.н. Е.К. Козлова. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 2008. – С. 44-48.
7. Перов В.Ф. Селевые потоки Хибинского горного массива // Вестник Московского ун-та. Сер. геогр. – 1966. – № 1. – С. 106-110.

8. Романенко Ф.А., Лукашов А.А., Шилова О.С. Катастрофические гравитационные процессы на севере Европейской России и опыт их абсолютного датирования // Геоморфология. – № 1. – 2011. – С. 87-94.
9. Рябчиков Д. И., Гольбрайх Е. К. Аналитическая химия тория. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1960. – 297 с.
10. Титаева Н. А. Ядерная геохимия. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.
11. Титаева Н.А., Таскаев А.И. Миграция тяжёлых естественных радионуклидов в условиях гумидной зоны. – Л.: Наука, 1983. – 232 с.
12. Титаева Н.А., Филонов В.А., Овченко В.Я., Векслер Т.И., Орлова А.В., Тырина А.С. Поведение изотопов урана и тория в системе кристаллические породы – поверхностные воды в условиях холодного гумидного климата // Геохимия. – 1973. – № 10. – С. 1522-1527.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО ТОКСИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОФИЛЕ ПОЧВ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ХРАНИЛИЩ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ СУЛЬФИДНО- ВОЛЬФРАМОВЫХ РУД

С.Г. Дорошкевич, О.К. Смирнова

Геологический институт Сибирского отделения Российской академии наук,
ул. Сахьяновой, д. 6а, г. Улан-Удэ, 670047 Россия. E-mail: sv-dorosh@mail.ru

Джидинский вольфрамо-молибденовый комбинат (ДВМК), перерабатывавший молибденитовые и сульфидно-гюбнеритовые руды месторождений Джидинского рудного поля, более 60 лет был одним из ведущих предприятий горнодобывающей промышленности нашей страны. В 1997 г. производство было законсервировано без проведения каких-либо работ по рекультивации «нарушенных» земель. На территории, граничащей с г. Закаменск, остались отходы обогащения руд – это насыпное, аварийное и намывное хвостохранилища, а также «дельтовая залежь» реки Модонкуль, сформированная при аварийных прорывах дамбы насыпного и намывного хвостохранилищ. Общая масса отходов обогащения руд составляет ориентировочно 50 млн т. Эти образования, в том числе самое крупное намывное хранилище отходов обогатительных фабрик, поверхность которого высохла, стали основными источниками загрязнения окружающей среды потенциально токсичными элементами [3]. В 2011-2012 гг. были проведены мероприятия по устранению негативных воздействий на г. Закаменск производственной деятельности бывшего ДВМК. На массив намывного хвостохранилища было перемещено 3,2 млн т лежалых отходов обогащения руд насыпного и аварийного хранилищ. На освободившейся территории проведены агротехнические мероприятия: планировка поверхности, нанесение плодородного слоя почвы. На дельтовой залежи выполнена корректировка ландшафта и землевание смесью потенциально плодородной почвы с отходами разработки гюбнеритовой россыпи (эфелями)