

внутреннего строения — форма, состав и свойства подсистем и элементов; внешних связей с сопредельными системами, внутреннего функционирования, обеспечивающего условия формирования техногенного режима эксплуатации ГТК, генезиса технической компоненты ГТК и технология его функционирования.

Иерархичность ГТК как системы: от ГТК в естественных условиях (участок недр) до ГТК в условиях его эксплуатации.

Критические значения параметров эксплуатации ГТК, являющиеся по существу его эмерджентным свойством как системы, достоверность которых определяет степень безопасности эксплуатации ГТК.

3.3 Формирование алгоритма решения концептуальных задач.

Для реализации концепции МГС на завтра предлагается решать прогнозные задачи в следующей последовательности:

Определить факторы формирования техногенного режима ГТК с обоснованием основных эксплуатационных параметров и их численных значений, обеспечивающих безаварийную эксплуатацию ГТК на расчетный период эксплуатации:

— разработать классификацию ГТК: внедренных в участки недр (разрабатываемые месторождения полезных ископаемых, подземный транспорт и захоронение

вредных жидких отходов), влияющих на ГС (складирования ТБО, ГСМ, эксплуатация шламохранилищ и отстойников, объектов водного хозяйства);

— системное моделирование естественного и техногенного режима ГС в зоне гидродинамического и гидрохимического воздействия эксплуатации ГТК.

Обоснование организации наблюдательной сети и режима наблюдения и опробования, учитывающие специфику ГТК.

Разработка нормативно-методических документов, регламентирующих методику мониторинговых исследований и алгоритмы их выполнения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Аликин, Э.А. Некоторые организационные и методические основы функционирования системы мониторинга геологической среды в пределах Верхнекамского солеродного бассейна / Э.А. Аликин / Мониторинг геологической среды на объектах горнодобывающей промышленности: Тезисы докладов Всероссийского совещания. — Березники, 1999. — С. 69–70.
2. Приказ Роскомнедра № 117 от 11.07.1994 г. «Об организации службы государственного мониторинга геологической среды (ГМГС)». — М., 1994.
3. Рыбникова, Л.С. Процессы формирования подземных вод в горнодобывающих районах Среднего Урала на постэксплуатационном этапе: Автореф. дисс... д. геол.-мин. наук / Л.С. Рыбникова. — М., 2019.

© Аликин Э.А., 2019

Аликин Эдуард Александрович // alikin@psu.ru

## ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 553.98:551.763:550.836

Павлова И.В., Домаренко В.А. (Томский политехнический университет), Галактионов В.А., Журавлев В.Г. (АО «Эльконский ГМК», Москва)

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ РИСКОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ БУДУЩЕГО ЭЛЬКОНСКОГО ГОРНОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА (АЛДАНСКИЙ ЦИТ, РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ))

**Актуальность исследований.** Актуальность исследований обусловлена необходимостью существенной корректировки природоохранной деятельности на горнодобывающих производствах ядерно-топливного цикла, основанной на оценке воздействия на окружающую среду и особенно прогноза радиозоологической обстановки. Освоение урановых месторождений обладает определенной спецификой, заключающейся в особенностях полезного компонента и горно-геотехнологических способах его отработки, что требует особой системы горно-экологического мониторинга окружающей среды с целью прогнозирования и корректировки природоохранной деятельности. **Цель исследований:** прогнозирование опасных радиозоологических

последствий при эксплуатации золото-урановых объектов Эльконского рудного района и разработка комплекса мер по организации геоэкологических исследований для контроля за уровнем техногенной нагрузки, состоянием природных объектов, а также для своевременной корректировки природоохранных мероприятий при реализации проекта «Эльконский горно-металлургический комбинат» (Республика Саха). **Объекты исследований:** золото-урановые объекты Эльконского урановорудного района (Республика Саха). **Методы исследований** включают в себя анализ и обобщение результатов выполненных ранее собственных и привлеченных теоретических и экспериментальных исследований, а также литературных данных. **Результаты исследований** представлены проведенными радиозоологическими исследованиями на территории проектируемого горно-металлургического комбината, а также рассмотрены проблемы и методология оценки радиационной обстановки и ранжирования техногенного радионуклидного загрязнения при освоении месторождений Эльконского урановорудного района. **Ключевые слова:** природно-техногенное загрязнение, геоэкологический риск, охрана окружающей среды, золото, уран, месторождение, радиационное воздействие, радиозоология, горно-экологический мониторинг.

Pavlova I.V., Domarenko V.A. (Tomsk Polytechnic University), Galaktionov V.A., Juravlev V.G. (Elkon Mining Metallurgical Plant, Moscow)

#### FORECASTING OF NATURAL TECHNOLOGICAL RISKS IN THE AREA OF INFLUENCE OF THE FUTURE OF THE ELKONSK MINING METALLURGICAL COMBINE (ALDAN SHIELD, REPUBLIC OF SAHA, YAKUTIA)

**Relevance of the research.** *The relevance of the research is determined by the need to correct significantly the environmental activity in mining plants and include the impact assessment and consequences forecast. The development of uranium deposits has particular characteristics including the useful component features and also mining and geotechnological methods. Correspondingly, that requires a special system for mining and environmental monitoring of the environment to forecast and correct the environmental activity.*

**The research objective:** *to forecast the hazardous radioecological processes during the development of gold and uranium objects in the Elkonskiy ore district; to develop a set of measures to organize the geoecological research to monitor the level of anthropogenic load, state of natural objects, and to correct the environmental protection measures for the Elkonskiy Mining and Metallurgical Plant (the Republic of Saha).*

**The objects of research:** *The gold and uranium objects of the Elkonskiy uranium ore district (the Republic of Saha).*

**The research methods** *include the analysis and generalization of our own results carried out earlier, the literature data, and the theoretical and experimental research. The research results: The results of the carried out radioecological research in the designed mining and metallurgical plant are presented. The problems and methods to assess the radiation situation and to rank the anthropogenic radionuclide contamination during the development of the Elkonskiy uranium ore deposits are considered. Keywords: natural and anthropogenic pollution, geoecological risk, environmental protection, gold, uranium, deposit, radiation impact, radioecology, mining and environmental monitoring.*

#### Введение

Уровень развития государства прямо зависит от количества потребляемой ею энергии. Любой источник энергии, ядерный или обычный, приносит определенную пользу и определенный вред окружающей среде и человеку. Практически все направления деятельности человека, будь то текстильная фабрика или металлургический комбинат, даже в обществе с высокотехнологичным производством, связаны с экологическим риском. Для удовлетворения энергетических потребностей промышленности требуется дальновидный подход к использованию ядерной энергии, который будет учитывать связанные с ней опасности, а также и большие потенциальные возможности. Актуальность исследований обусловлена необходимостью существенной корректировки природоохранной деятельности на горнодобывающих производствах ядерно-топливного цикла, основанной на оценке воздействия на окружающую среду и особенно прогноза радиоэкологической обстановки. Освоение урановых месторождений обладает определенной спецификой,

закрывающейся в особенностях полезного компонента и горно-геотехнологических способах его отработки, что требует особой системы горно-экологического мониторинга окружающей среды с целью прогнозирования и корректировки природоохранной деятельности [1].

Уран в настоящее время добывается в 19 странах. По данным Всемирной ядерной ассоциации в 2012 г. мировое производство урана составило 58 394 т, что соответствует примерно 86 % потребностей. Остальные 14 % были взяты из списанного ядерного оружия, коммерческих запасов, рециркулированного плутония и переработанного использованного топлива. Агентство по ядерной энергии и Международное агентство по атомной энергии прогнозируют, что «мировые ежегодные потребности в урановых реакторах по прогнозам возрастут до 97 645 т и 136 385 т к 2035 г. [2, 3].

Развитие атомной промышленности, в том числе освоение новых месторождений урана — одна из важнейших задач, стоящих перед Россией в XXI в. По данным «Урановой горнорудной компании» (УГРК) суммарные годовые потребности российского атомного энергопромышленного комплекса в уране вместе с экспортными поставками должны увеличиться с сегодняшних 17–20 тыс. т до 36 тыс. т к 2020 г.

Горнодобывающие предприятия РФ добывают на своей территории только 3,5 тыс. т и удовлетворяют таким образом не более 20 % спроса. В результате отсутствие новых предприятий вынуждает государство и компании производить закупки недостающего металла за рубежом, в то время как в РФ законсервированы огромные запасы урана. Дефицит потребностей согласно Энергетической Стратегии России на период до 2030 г., кроме складских запасов урана и повторного использования топлива с одновременным постепенным переходом на воспроизводство ядерного топлива в быстрых реакторах, будет покрываться за счет закупок и производства урана в странах Содружества Независимых Государств, на которые приходится примерно 21 % разведанных запасов [4].

В современных условиях при явном дефиците в стране природного урана появилась необходимость провести переоценку крупнейшего урановорудного района в Южной Якутии и попытаться найти новые пути к его рациональному освоению.

Объем извлекаемых ресурсов урана четко связан с разведкой, технологией и экономикой, но также и неразрывно связан с экологическими издержками. Строительство таких объектов, как Эльконский горно-металлургический комбинат, неизбежно приведет к серьезным негативным геоэкологическим последствиям. Горнодобывающая деятельность оказывает воздействие на окружающую среду на стадиях разведки, добычи и переработки полезного ископаемого. Освоение урановых месторождений, в отличие от месторождений общего профиля, обладает определенной спецификой, заключающейся в особенностях полезного компонента и горно-геотехнологических способах его отработки. Специфика при отработке урановых место-

рождений требует особой системы экологического обоснования ведения геологоразведочных, добычных и перерабатывающих работ.

#### Объект исследований

Эльконский урановорудный район, где сосредоточено 6 % мировых запасов урана, является крупнейшим в России и одним из крупнейших в мире с разведанными запасами свыше 300 тыс. т, который активно исследовался еще в 1960–1970-х годах [5, 6]. Он располагается в Алданском районе Республики Саха (Якутия) на востоке Российской Федерации с районным центром в г. Алдан.

В рудном районе, площадь которого около 600 км<sup>2</sup>, выявлено более 100 рудоносных зон различной протяженности и разного строения (рис. 1).

Запасы урана по 15 основным рудным зонам составляют 342 тыс. т при среднем содержании урана 0,147 %, причем более 75 % этих запасов приходится на зону Южная — гигантскую рудоносную структуру протяженностью более 20 км с практически непрерывным оруденением. Прогнозные ресурсы кат. P<sub>1</sub> оцениваются почти в 300 тыс. т при среднем содержании урана 0,120 %. Суммарный ресурсный потенциал района составляет 650 тыс. т урана, что позволяет рассматривать его в качестве одного из крупнейших урановорудных районов мира. Запасы попутного золота в контурах урановорудных тел только по зоне Южная составляют более 140 т при среднем его содержании 0,8 г/т, серебра — около 1800 т при среднем содержании 10 г/т. На двух месторождениях в юго-восточной части района —

Дружное иMineевское присутствует молибден, суммарные запасы которого составляют 97 тыс. т при среднем содержании 0,12 % [7].

В ноябре 2007 г. для отработки месторождений Эльконского урановорудного района, являющегося одним из крупнейших в мире, было образовано ЗАО «Эльконский горно-металлургический комбинат».

#### Результаты и обсуждение

Комплексные золотоурановые месторождения Южной Якутии относятся к месторождениям мезозойской тектоно-магматической активизации в щелочных метасоматитах. Территория района в целом относится к категории достаточно сложных в геологическом, инженерно-геологическом, горно-техническом, экологическом и иных отношениях, определяющих целесообразность его горнопромышленного освоения, а также целый ряд факторов, которые должны учитываться на всех стадиях намечаемых работ.

К опасным геологическим процессам и явлениям (ОГПЯ) в характеризуемом районе следует отнести широкий спектр природных, а также техногенных факторов, в том числе естественных процессов, но инициированных и усиленных техногенным воздействием (табл. 1).

В процессе строительства и эксплуатации проектируемого объекта происходит образование специфической природно-технической системы, в которой природные и технические (инженерные) объекты находятся в сложных, изменяющихся во времени и пространстве отношениях. Деятельность горнодобыва-

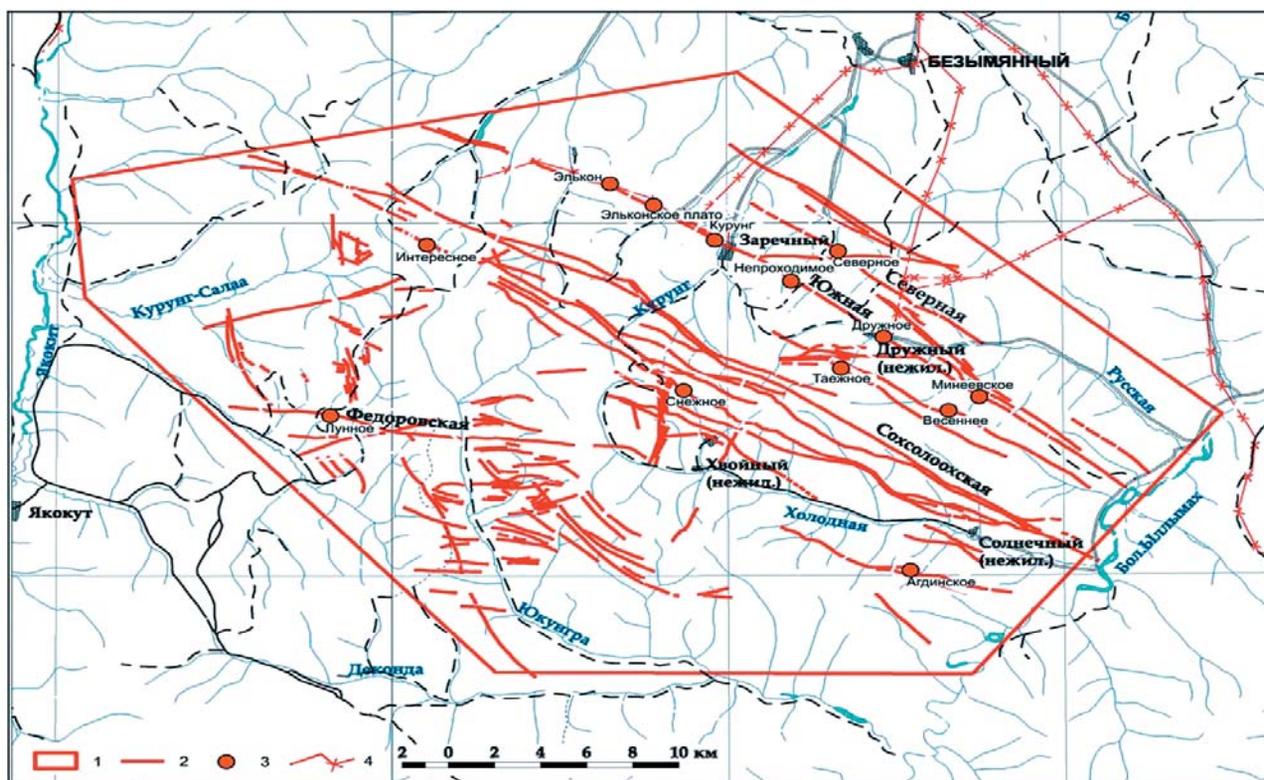


Рис. 1. Схема расположения рудоносных зон Эльконского района: 1 — контур Эльконского урановорудного района; 2 — рудоносные зоны; 3 — урановые месторождения; 4 — линия электропередач [11]

**Таблица 1**  
**Возможные геологические опасные процессы и явления в пределах Эльконского урано-рудного района**

Наименование опасных геологических процессов и явлений	Вероятность проявления опасных геологических процессов и явлений, возможные интенсивность и масштабы
Оползни, сели, лавины	Возможны по льдистому субстрату на подмываемых склонах, сложенных суглинистым материалом. В целом вероятность незначительна; возможны сели, оплывины, грязекаменные потоки техногенного характера вследствие подмыва незарегулированными дождевыми и паводковыми водами отвалов, сложенных обломочным материалом с присутствием песчано-глинистых фракций. Возможны в виде обрушения снежных козырьков, снеговых надувов на бортах карьеров, выемок и на снегозаносимых склонах круче 25–30°.
Землетрясения	Район сейсмичен. Согласно СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах, проектирование и строительство должно вестись с учетом карт общего сейсмического районирования (ОСР) территории РФ, относящих Алданский щит к 7-балльной площади по шкале MSK-64.
Абразия и термоабразия, переработка берегов водохранилищ	Возможны в бортах естественных и техногенных водотоков, сложенных мерзлыми и протаивающими грунтами гравийно-песчаных фракций, при подмыве отвалов и др. Возможна при интенсивном ветровом режиме и волно-нагонном воздействии на защитные вододерживающие насыпные сооружения (дамбы, борта хвостохранилищ и т.д.).
Карст, суффозия	Район карстоопасен. Вероятна в податливых к инфильтрации грунтах.
Подтопление территории	Представляется достаточно вероятным в зависимости от высотного уровня территории, режима схода льда в русле р. Алдан и амплитуды паводков в ближайших реках.
Эрозия плоскостная и овражная, эрозия речная, термоэрозия овражная	Незначительна, но полностью не исключается в виде термоэрозии при соответствующем составе грунтов. Возможна при достижении водотоками размывающих скоростей течения. Вероятность незначительна, однако может проявиться в локальных случаях.
Наледообразование	Характерно для района.
Ураганы, смерчи, цунами	Маловероятны. Абсолютно исключены.

ющей компании, как и деятельность любого промышленного предприятия, оказывает негативное воздействие на окружающую среду (недра, водные объекты, атмосферу), т.е. при осуществлении деятельности по добыче полезных ископаемых существует риск превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ в компонентах окружающей среды, а отработка урановых месторождений требует особой системы экологического обоснования ведения геологоразведочных, добычных и перерабатывающих работ.

Радиоэкологические исследования, проведенные в районе Эльконского урано-рудного района, начиная с начала 1990-х годов, и по настоящее время показывают, что на отдельных техногенных участках сложилась напряженная радиоэкологическая обстановка. Определенная часть отвалов радиоактивных горных пород, складированных на дневную поверхность, представляют собой особо опасные источники радионуклидного загрязнения основных компонентов горно-таежных экосистем в результате ветрового и водного рассеивания, а также эманирования (радоныделения). Вследствие чего в процессе длительного (30–40 лет)

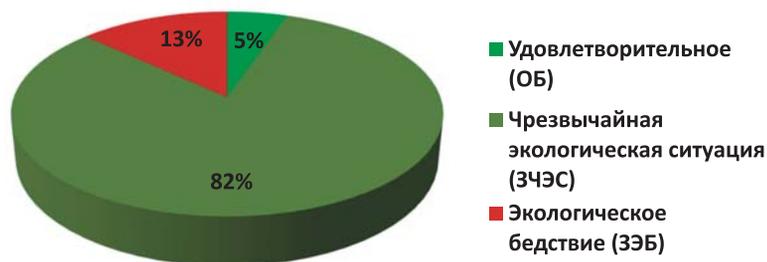
техногенного загрязнения экосистем происходило накопление естественных радионуклидов, в особенности урана, а также в некоторых компонентах таежно-мерзлотных ландшафтов в количествах по уровню активности превышающей или приближающейся к нормам, установленным для радиоактивных отходов (Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) [9]). По результатам проведенных исследований к таким компонентам можно отнести некоторые виды мхов, гидроморфные почвы и донные отложения. При этом миграция радионуклидов осуществляется на значительные расстояния, а техногенные радиоактивно-загрязненные участки занимают здесь значительные площади.

В настоящее время для разрабатываемых и законсервированных месторождений твердых полезных ископаемых не существует официальных утвержденных Госсанэпиднадзором России документов по классификации их по степени радиационной опасности.

Поэтому при оценке радиационной обстановки и ранжировании техногенного радионуклидного загрязнения на исследуемой территории мы использовали два методологических подхода, наиболее принятых в настоящее время и используемых при решении подобного рода задач. В первом случае ранжирование территории исследуемых техногенных ландшафтов производилось по величине среднего значения мощности экспозиционной дозы (МЭД), полученной для кон-

**Таблица 2**  
**Предельные значения удельной эффективной активности естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) для классификации месторождений твердых полезных ископаемых по степени радиационной опасности [16]**

Категория месторождения (класс опасности)	$A_{эфф}$ , Бк/кг	
	От	До
Особо опасные	Более 3500	
Опасные	1000	3500
Потенциально опасные	100	1000
Безопасные	Менее 100	



**Рис. 2. Ранжирование отвалов по критериям оценки радиоэкологического состояния территории:** 5 % — 2 отвала в удовлетворительном состоянии (ОБ): Курунг 2 (1,3); 13 % — 5 отвалов в состоянии экологического бедствия (ЗЭБ): Акин 1,2; Курунг1(1,2); Холодная 3; и 82 % — 31 отвал в состоянии чрезвычайной экологической ситуации (ЗЧЭС): Акин 3–7, Дрожжевой 1–4, Курунг 1(3–8), Курунг 2 (2), Минеевский 1, Непроходимый 1 (1–3), Непроходимый 2 (1–3), Русская 1–3, Холодная 1–2, Элькон 1–3

клетных отвалов горных пород. При этом выделялось три радиоэкологических критерия оценки состояния территории: удовлетворительное (относительного благополучия (ОБ)) с величиной МЭД до 20 мкР/ч, чрезвычайной экологической ситуации (ЗЧЭС) со значением МЭД в пределах 200–400 мкР/ч и экологического бедствия (ЗЭБ) с величиной МЭД более 400 мкР/ч. Согласно данному ранжированию (рис. 2) из 38 исследованных нами отвалов относились: к категории ОБ — всего 2 или 5,3 %, к ЗЧЭС — 31 или 81,6 % и к ЗЭБ — 5 отвалов или 13,2 % от их общего количества.

Согласно Постановлению Главного государственного санитарного врача РФ от 26 апреля 2010 г. № 40 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99)» И.М. Хайкович с соавторами разработали по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов ( $A_{эфф}$ ) классификацию для всех промышленных типов месторождений твердых полезных ископаемых по степени радиационной опасности (табл. 3).

В соответствии с этой классификацией все месторождения подразделяются на четыре категории (класса): особо опасные (1), опасные (2), потенциально опасные (3) и безопасные (4).

В нашем случае по этой классификации 28,6 % всех обследованных отвалов попадают в категорию 1; 25,7 и 40,0 % соответственно в категории 2 и 3, а остальные 5,7 % — в категорию 4. При этом из 35 отвалов более половины, т.е. 19 (или 54,3 %) попадают на основе средних значений эффективной удельной активности естественных радионуклидов в категории опасных и особо опасных (табл. 2).

По величине гамма-фона 91,4 % обследованных отвалов не пригодны для отвода

участков под строительство жилых домов и зданий социально-бытового назначения. По значениям эффективной удельной активности 46,5 % отвалов относятся к строительным материалам 1 и 2 класса, а более 50 % отвалов не пригодны в качестве стройматериалов и требуют утилизации.

В связи с необходимостью улучшения экологической обстановки территории исследуемых техногенных ландшафтов нами было проведено разделение отвалов по необходимости проведения специальных реабилитационных мероприятий (табл. 4). При этом в качестве основного критерия использовались также средние значения МЭД, полученные ранее, а также рекомендации. В соответствии с рекомендуемыми критериями участки со

значениями МЭД менее 30 мкР/ч считаются относительно благополучными, с МЭД в пределах 30–300 мкР/ч — нуждаются в рекультивации, а с МЭД более 300 мкР/ч — должны вывозиться в специальные пункты для захоронения. Согласно данным критериям из 38 обследованных нами отвалов большая часть 27 (или 71,1 %) должна быть рекультивируема, а горная масса 6 (15,8 %) должна быть подвергнута соответствующим образом захоронению.

При проведении полевых рекогносцировочных работ в 2005 г. на Эльконском горсте на участках Холодная, Русская и Минеевский нами дополнительно было учтено 6 новых радиоактивных отвалов (М1, Р1, Р2, Х1, Х и Х3), требующих по критериям оценки проведения рекультивационных работ. Более того, как указывалось выше, до последнего времени при оценке степени радиоактивного загрязнения исследуемой территории не учитывалось наличие большого числа шурфов, геологических канав, а также буровых площадок с керном, которые особенно в большом количестве встречаются в местах интенсивной геологоразведки. Данные источники загрязнения, наряду с исследованными отвалами, также по нашим данным

**Таблица 3**  
**Ранжирование отвалов по критериям необходимости проведения реабилитационных мероприятий**

Участок	Требования по критериям радиоэкологического состояния		
	Относительное благополучие (ОБ)	Рекультивация (РК)	Вывоз на захоронение (ВЗ)
Акин	—	А4, А5, А6, А7	А1, А2, А3
Дрожжевой	—	Д1, Д2, Д3, Д4	—
Курунг 1	—	К1(3), К1(4), К1(6), К1(7), К1(8)	К1(1), К1(2), К1(5)
Курунг 2	К2(1), К2(3)	К2(2)	—
Минеевский	—	М1	—
Непроходимый 1	—	Н1(1), Н1(2), Н1(3)	—
Непроходимый 2	—	Н2(1), Н2(2), Н2(3)	—
Русская	Р3	Р1, Р2	—
Холодная	—	Х1, Х2, Х3	—
Элькон	Э1, Э3	Э2	—

характеризуются весьма высокими радиационными параметрами и требуют детального изучения. Очевидно, что столь сложная, объемная и высокочрезвычайно затратная задача реабилитации техногенных участков должна последовательно решаться только после наиболее полной инвентаризации на исследуемой территории источников радиоактивного загрязнения. Помимо этого, необходимо учитывать весь комплекс их радиационных параметров с учетом всех региональных ландшафтно-геохимических особенностей миграции радиоактивных элементов, а также практику возможного дальнейшего промышленного освоения разведанных и законсервированных урановых месторождений Эльконского горста в современных изменившихся социально-экономических условиях Южной Якутии [11, 12] (табл. 3).

Для контроля за уровнем техногенной нагрузки, состоянием природных объектов, а также для своевременной корректировки природоохранных мероприятий необходима организация локального экологического мониторинга. Необходимость разработки системы мониторинга определяется Постановлением Правительства РФ от 31 марта 2003 г. № 177 «Об организации и осуществлении государственного мониторинга окружающей среды (государственного экологического мониторинга)», где под государственным мониторингом окружающей среды (государственным экологическим мониторингом) понимается комплексная система наблюдения за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов (далее именуется — экологический мониторинг) [13].

Все виды экологического мониторинга должны осуществляться специально созданной в Эльконском горно-металлургическом комбинате службой мониторинга, либо подрядными организациями, имеющими лицензии на проведение инженерно-экологических изысканий.

Областью функционирования экологического мониторинга являются установленные проектом границы (зоны) воздействия проектируемого объекта на компоненты природной среды и условия жизни населения. Локальный экологический мониторинг на планируемых объектах (отвалах, хвостохранилищах и т.д.) должен быть составной частью системы экологического мониторинга Эльконского горно-металлургического комбината.

Район ведения мониторинга определяется местоположением проектируемого предприятия. Расположение пунктов наблюдения стационарной сети определяется содержанием решаемых задач, особенностями природной обстановки, контролирующими пути миграции, аккумуляции и выноса загрязнений. Все это указывает на необходимость организации комплексного долгосрочного радиоэкологического мониторинга в данном районе.

Первоначальным этапом таких работ должно быть проведение гамма- и гамма-спектральной и эманаци-

онной экспрессных съемок с помощью специального инструментального радиометрического оборудования. Поскольку формы и размеры отвалов совершенно разные, то при обследовании техногенных участков нельзя проводить съемку по какой-то строго определенной сети. Можно использовать радиальные и квадратные сети наблюдения, либо произвольные точки наблюдения. В любом случае плотность сети наблюдения должна обеспечить представительную оценку основных измеряемых радиационных параметров (мощность экспозиционной дозы, концентрация естественных радиоактивных элементов, плотность потока радона) отвалов радиоактивных горных пород. Нужно отметить, что в зоне ветрового рассеяния сцинтилляционные пешеходные радиометры, например СРП-68-01, не позволяют до конца оценить границу загрязнения. Так, по розе ветров на расстоянии около 600–1000 м от источника загрязнения при уровне гамма-фона 7–12 мкР/ч в верхней части почвенного профиля все же обнаруживаются повышенные содержания радионуклидов. Это означает, что реальные границы ветрового рассеяния радионуклидов от источников загрязнения можно обнаружить только непосредственно по их содержанию в почвах.

Опыт проведенных работ также показывает, что образцы почв нужно отбирать по горизонтам (опад, лесная подстилка, дернина, перегнойный и гумусовый, а также горизонты минеральной части) по направлению ветрового рассеяния радионуклидов через 50–250 м до выхода фиксируемого загрязнения на фоновый уровень. Помимо почвенных проб в местах наблюдений необходимо также отбирать растительные пробы (мхи, лишайники, высшие растения). При отборе образцов древесно-кустарниковых растений, необходимо их разделять на компоненты: хвою (листья), ветви, кору и древесину.

Особые подходы должны быть осуществлены также при изучении водного рассеяния радионуклидов из отвалов. Водное рассеяние радионуклидов хорошо обнаруживается гамма-съемкой на значительных расстояниях по вектору стока водотоков от источников загрязнения. При этом в донных отложениях и аллювиальных почвах радиоактивное равновесие между ураном и радием нарушено, как правило, в сторону избытка урана. Поэтому оценки концентраций урана по радио как полевые, так и лабораторными гамма-спектральными методами являются не совсем корректными. В данном случае, концентрацию урана лучше определять в лабораторных условиях в исследуемых образцах другими методами, например, рентгено-спектральным. В зоне водного рассеяния наиболее информативными объектами радиоактивного загрязнения являются гидроморфные (аллювиальные и болотные) почвы, донные отложения, а из растений — гидрофильные мхи и травы. Отбор проб следует проводить через 100–350 м до выхода загрязнения на фоновый уровень.

Особые требования при проведении радиоэкологического мониторинга на исследуемой территории

должны быть предъявлены к оценке фоновых концентраций естественных радионуклидов в основных компонентах горно-таежных ландшафтов (поверхностные воды, донные отложения, почвы, растения и недревесные ресурсы леса). В силу геологических особенностей Эльконского ураново-рудного района (Эльконский горст) радиационная обстановка здесь исходно неоднородная.

Результаты проведенных радиоэкологических исследований показывают, что в настоящее время в местах складирования радиоактивных горных пород идет интенсивный бесконтрольный процесс рассеивания радионуклидов ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ) из отвалов в результате водного и ветрового переноса, а также посредством эманации. Поэтому в комплексе прочих проектируемых природоохранных мероприятий на Эльконском горсте, особенно в период начала промышленного освоения, необходима организация долгосрочного комплексного радиоэкологического мониторинга исследуемых таежно-мерзлотных ландшафтов. В этом плане, на наш взгляд, под контролем постоянно должно находиться водное рассеивание урана и других радионуклидов из отвалов, оцененное по сезонам года (зима, весна, лето и осень) при разных режимах стока (паводковый и меженный) рек и ручьев. Кроме того, необходимо определять уровни радиационного фона и плотности потока радона, а также оценку ветрового переноса радионуклидов на разных расстояниях от источников загрязнения, с фиксацией точек наблюдения с помощью GPS. При этом объектами комплексного радиоэкологического мониторинга должны быть по возможности все основные компоненты ландшафтов [14]. В зоне воздействия отвалов нужно периодически контролировать уровень загрязненности радионуклидами местных продуктов питания и недревесных ресурсов леса (грибов, ягод, мяса пернатой дичи и диких животных).

В процессе миграции радионуклидов в техногенных зонах Эльконского ураново-рудного района нужно различать три формы рассеивания радионуклидов: 1) ветровую (эоловую); 2) водную (гидрогенную); 3) механическую (антропогенную). Значение последней формы рассеивания радионуклидов особенно возрастает в момент начала промышленного освоения данных месторождений, когда ожидается интенсивное передвижение технологического автотранспорта, перевозящего рудную массу, а также проведение буровзрывных работ.

#### **Заключение**

Результаты проведенных исследований указывают на то, что на основной территории, где предусматривается строительство объектов Эльконского ГМК, радиационная обстановка оценивается в целом как благополучная. Так, гамма-фон здесь изменяется от 5 до 18 мкР/ч и соответствует среднему российскому показателю. В исследованных точках концентрация калия изменяется от 0,4 до 5,6 %, урана (по радию) от 0,4 до  $3,9 \cdot 10^{-4}$  %, а тория от 2,9 до  $20,5 \cdot 10^{-4}$  % и не выходит за пределы их фоновых значений [15].

Вместе с тем, на исследуемой территории, особенно на Эльконском горсте, в районе месторождения Южное, в местах складирования радиоактивных отвалов горных пород выделяются отдельные техногенные участки с напряженной радиационной обстановкой. Так, здесь на поверхности отвалов мощность экспозиционной дозы гамма-излучения изменяется от 10 до 2150 мкР/ч, значение эффективной удельной активности радионуклидов варьируют в пределах 68–23640 Бк/кг, а содержание урана — 2–1888 мт/кг, т.е. максимально превышает фоновое почти в 1000 раз. В зонах радиоактивного загрязнения отмечается образование контрастных и устойчивых техногенных ореолов рассеяния природных радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в основных компонентах ландшафтов посредством их эоловой и гидрогенной миграции. При этом повышенные концентрации  $^{238}\text{U}$  обнаруживаются в поверхностном слое почвогрунтов в зоне ветрового рассеяния на удалении от отвалов почти до 1 км, а водного — на расстоянии до 2 км, а иногда и более.

Таким образом, контрастная радиационная обстановка, сложившаяся сегодня на территории Эльконского ураново-рудного района, требует проведения дальнейших углубленных радиоэкологических исследований (особенно в техногенных зонах) и необходимости организации комплексного долгосрочного радиоэкологического мониторинга в данном районе. В программу комплексного экологического мониторинга желательно включить анализ качества среды по показателям нарушения стабильности развития организмов. Эта методика рекомендована для оценки антропогенного воздействия на наземные экосистемы Министерством природных ресурсов Российской Федерации.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Галактионов, В.А.* Ранжирование техногенного радионуклидного загрязнения по критериям оценки радиоэкологического состояния при строительстве Эльконского горно-металлургического комбината / В.А. Галактионов, В.Г. Журавлев, И.В. Павлова и др. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. V Междунар. конф., 13–16 сентября 2016 г., Томск. — Томск, 2016. — С. 172–175.
2. *Голева, Р.В.* Об экологическом сопровождении проекта строительства Эльконского ГМК / Р.В. Голева // Рациональное освоение недр. — 2011. — №. 1. — С. 61–65.
3. *Максимов, Е.П.* Мезозойские рудоносные магматогенные системы Алдано-Станового щита: Автореферат дисс.... док. геол.-мин. наук / Е.П. Максимов. — Якутск: Институт геологии алмаза и благородных металлов, 2003.
4. *Машковцев, Г.А.* Перспективы освоения Эльконского ураново-рудного района / Г.А. Машковцев, А.К. Мигута, С.С. Наумов // Разведка и охрана недр. — 2007. — №. 6. — С. 11–20.
5. *Наумов, С.С.* Урановые месторождения Алдана / С.С. Наумов, М.В. Шумилин // Отечественная геология. — 1994. — Т. 11. — С. 12–20.
6. *Собакин, П.И.* Радиоэкологическая обстановка на территории Якутии / П.И. Собакин, А.П. Чевычелов, В.Е. Ушницкий // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2004. — Т. 44. — №. 3. — С. 283–288.
7. *Спирин, Э.К.* Эльконский ураново-рудный район как перспектива Российской уранодобывающей промышленности / Э.К. Спирин, А.В. Филонов, С.В. Киселев // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 11–1. — С. 81–83.
8. *Чевычелов, А.П.* Особенности техногенного загрязнения мерзлотных почв горно-таежных ландшафтов Южной Якутии естественными радионуклидами  $^{238}\text{U}$  и  $^{226}\text{Ra}$  / А.П. Чевычелов, П.И. Собакин, А.В. Молчанова // Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем: Матер. междунар. конф. — Ростов на Дону. — 2006. — С. 453–455.

9. Чевычелов, А.П. Радиоактивное загрязнение мерзлотных почв <sup>238</sup>U в зоне урановых месторождений Центрального Алдана (Южная Якутия) / А.П. Чевычелов, П.И. Собакин // Современные проблемы загрязнения почв: Матер. II межд. научн. конф. — 2007. — Т. 1. — С. 261–264.
10. Чевычелов, А.П. Ландшафтно-климатические и почвенно-геохимические условия миграции естественных радионуклидов в ландшафтах зоны урановых месторождений Центрального Алдана (Южная Якутия) / А.П. Чевычелов, П.И. Собакин, В.Е. Ушницкий // Вестник Том. гос. ун-та. Приложение. — 2003. — Т. 3. — С. 312.
11. Nilsson, J.A. Environmental impacts and health aspects in the mining industry—a comparative study of the mining and extraction of uranium, copper and gold / J.A. Nilsson, J. Randhem, 2008.

© Коллектив авторов, 2019

Павлова Инна Владимировна // pavlovaiv@tpu.ru  
Домаренко Виктор Алексеевич // viktor\_domarenko@mail.ru  
Галактионов Вячеслав Анатольевич // pavlovaiv@tpu  
Журавлев Валерий Георгиевич // pavlovaiv@tpu

УДК622.85:504.064.2

**Целюк Д.И.<sup>1</sup>, Целюк И.Н.<sup>2</sup> (1 — ГПКК «Красноярский научно-исследовательский институт геологии и минерального сырья», 2 — АО «Росгеология», АО «Сибирское ПГО»)**

#### **ТЕХНОГЕННОЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ НАСЛЕДИЕ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ЗОЛОТОРУДНОГО КОМПЛЕКСА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ**

*Раскрыты причины накопления ртути в техногенных хвостах золотодобывающей промышленности с дореволюционного времени до современного промышленного периода. Установлено, что в хвостохранилищах, характеризующихся длительным периодом эксплуатации, может быть сконцентрировано до 100 т техногенной ртути. Изучены формы нахождения металла в техногенных минеральных образованиях, проведен анализ миграционных свойств ртути, прослежены механизмы загрязнения поверхностных водотоков. Дана оценка потенциальной опасности техногенного загрязнения ртутью районов традиционной золотодобычи. Для предотвращения негативных экологических последствий в регионе предлагается природоохранным органам провести инвентаризацию ртутьсодержащих хвостохранилищ и внести коррективы в исполнение нормативных процедур по выдаче природопользователям разрешительной документации на обращение с отходами производства. **Ключевые слова:** горнопромышленные отходы, вещественные состав, ртуть, загрязнение окружающей среды.*

Tselyuk D.I.<sup>1</sup>, Tselyuk I.N.<sup>2</sup> (1 — Krasnoyarsk Research Institute of Geology and Mineral Resources, 2 — Rosgeologia, Siberian Production Geological Association)

**TECHNOGENIC ENVIRONMENTAL HERITAGE GOLD MINING INDUSTRY OF EASTERN SIBERIA**

*In article the reasons of accumulation of mercury in technogenic tails of gold mining since the end of the nineteenth century to the modern industrial period are opened. It is estab-*

*lished that the long period of operation of tailings dams, can lead up to 100 tons of technogenic mercury to accumulation. Forms of finding of metal in technogenic mineral educations are studied, the analysis of migration properties of mercury is carried out, mechanisms of pollution of superficial water currents are tracked. An assessment of potential danger of technogenic pollution is given by mercury of areas of traditional gold mining. For prevention of negative environmental impacts in the region it is offered to nature protection bodies to carry out inventory of the tailings dams containing mercury and to introduce amendments in the procedure of obtaining permission to users of nature on placement of production wastes. **Keywords:** mining waste, material structure, mercury, environmental pollution.*

Более чем за столетний период освоения рудных месторождений золота в Восточной Сибири в отвалах и промышленных накопителях размещено более 60 млн т хвостов обогащения золотосодержащих руд. В этих отходах, наряду с утерянным золотом, присутствуют сопутствующие компоненты, появление которых связано с применяемыми методами извлечения благородного металла.

На протяжении всей эпохи развития золотодобывающей промышленности в России выделяются три крупных периода [10]. Первый период (от дореволюционной России до 1935 г.) характеризуется широким применением метода амальгамации от кустарной мускульной добычи золота до создания механизированной базы золотоизвлекающих фабрик (ЗИФ). Во второй период (с 1935 до 1988 г.) используются комплексные схемы, включающие гравитацию, амальгамацию, цианирование. В третий период (с 1989 г. до настоящего времени) при добыче золота резко сокращается цианирование, запрещено применение ртути, в большей мере используются флотация и другие методы ионообменных технологий.

Как видим, метод амальгамации золота, основанный на избирательном смачивании ртутью частиц самородного металла, длительное время был обязательным звеном в технологических схемах обогащения золотосодержащих руд в нашей стране. Причем повсеместное использование ртути при создании механизированной базы извлекающих фабрик, по сравнению с предшествующим мускульным способом, существенно повысило уровень извлечения благородного металла из рудного сырья — от 30 до 60 %. Успешное применение метода амальгамации также способствовало росту золотоизвлекающих фабрик в нашей стране. Так, только за семь лет, с 1927 по 1934 г. их число увеличилось от 44 до 82 единиц [2].

Однако применение этого метода сопровождалось рядом ощутимых издержек. Значительный рост добычи золота сопровождался существенными потерями ртути. Так, по данным современника периода активного применения метода амальгамации М.Д. Ивановского [3] «На большинстве наших фабрик расход ртути чрезвычайно велик и является следствием сноса ее из чаш, а также небрежного ее расходования. Часто на