

А.П. Чевычелов, П.И. Собакин, А.Н. Горохов, Л.И. Кузнецова
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА НА ЗОЛОТОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КУРАНАХСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЮЖНАЯ ЯКУТИЯ)

Аннотация. Впервые проведена комплексная оценка радиационной и экологической обстановки на 9-ти золоторудных месторождениях Куранахского рудного поля (КРП), а именно «Северное», «Порфиоровое», «Центральное», «Южное», «Первухинское», «Боковое», «Дорожное», «Дэлбэ» и «Канавное». При проведении исследований использовался комплексный подход, основанный на применении геоэкологических, радиоэкологических и геохимических методов исследования в сочетании с экспрессными и точными методиками полевых и лабораторных работ. Показано, что гамма-фон на исследуемой территории изменяется в пределах от 7 до 26 мкР/ч и не превышает фоновые величины, характерные для карбонатных и терригенных осадочных пород. В мелкоземе пород отвалов и карьеров концентрации ^{40}K варьируют в пределах 0.6-10.1 мг/кг, ^{238}U – 0.8-12.3, а ^{232}Th – 0.5-10.8 мг/кг и в целом соответствуют таковым, характерным для осадочных горных пород. Эффективная удельная активность радионуклидов в мелкоземе горных пород изменяется от 38 до 386 Бк/кг. Помимо оценки радиоэкологической обстановки на исследуемой территории, нами также изучалось общее экологическое состояние природной среды в районе КРП. Здесь также отмечается многофакторное антропогенное и техногенное воздействие на природные ландшафты. В частности показано, что в данном районе 47 % общей площади территории природных ландшафтов нарушено геолого-разведочными и добычными работами. В общем по результатам проведенных исследований радиоэкологическая обстановка в исследуемом районе в настоящее время оценивается как благоприятная, а эколого-геологическая может быть охарактеризована как напряженная, а в отдельных случаях даже как кризисная.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, естественные радионуклиды, радиоэкологическая обстановка, антропогенное воздействие, эколого-геологическая оценка.

ЧЕВЫЧЕЛОВ Александр Павлович – д.б.н., г.н.с. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН. E-mail: chev.soil@mail.ru

CHEVYCHELOV Alexandr Pavlovich – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS. E-mail: chev.soil@mail.ru

СОБАКИН Петр Иннокентьевич – д.б.н., г.н.с. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН. E-mail: radioecolog@yandex.ru

SOBAKIN Pyotr Innokentievich – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS. E-mail: radioecolog@yandex.ru

ГОРОХОВ Алексей Николаевич – к.б.н., с.н.с. Института биологических проблем криолитозоны СО РАН. E-mail: algor64@mail.ru

GOROKHOV Alexey Nikolaevich – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS. E-mail: algor64@mail.ru

КУЗНЕЦОВА Любовь Ивановна – инженер-исследователь Института биологических проблем криолитозоны СО РАН. E-mail: likkol@yandex.ru

KUZNETSOVA Lyubov Ivanovna – Research Engineer, Institute of Biological Problems of Cryolithozone. E-mail: likkol@yandex.ru

A.P. Chevychelov, P.I. Sobakin, A.N. Gorokhov, L.I. Kuznetsova
 Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Yakutsk, Russia

RADIATION SITUATION AT THE GOLD-BEARING DEPOSITS OF THE KURANAKH ORE FIELD (SOUTH YAKUTIA)

Abstract. For the first time, a comprehensive assessment of the radiation and environmental situation was carried out at 9 gold deposits of the Kuranakh ore field (KOF), namely “Severnoye”, “Porphyrovoye”, “Tsentrallynoye”, “Yuzhnoye”, “Pervukhinskoye”, “Bokovoye”, “Dorozhnoye”, “Delbe” and “Kananovoye”. During the research, an integrated approach was used based on the application of geoecological, radioecological and geochemical research methods in combination with express and precise methods of field and laboratory work. It is shown that the gamma background in the study area varies from 7 to 26 mkR/h and does not exceed the background values characteristic of carbonate and terrigenous sedimentary rocks. In the fine-grained rocks of dumps and quarries, concentrations of ^{40}K vary in the range of 0.6-10.1 mg/kg, ^{238}U – 0.8-12.3, and ^{232}Th – 0.5-10.8 mg/kg and generally correspond to those characteristic of sedimentary rocks. The effective specific activity of radionuclides in the fine-grained rocks varies from 38 to 386 Bq/kg. In addition to assessing the radioecological situation in the study area, we also studied the general ecological state of the natural environment in the KOF area. There is also a multifactorial anthropogenic and technogenic impact on natural landscapes. In particular, it is shown that in this area 47 % of the total area of the territory of natural landscapes is disturbed by geological exploration and mining operations. In general, according to the results of the conducted research, the radioecological situation in the studied area is currently assessed as favorable, and the ecological and geological situation can be characterized as tense, and in some cases even as a crisis.

Keywords: gold deposits, natural radionuclides, radioecological situation, anthropogenic impact, ecological and geological assessment.

Введение

Исследуемые золоторудные месторождения располагаются в пределах Куранахского рудного поля (КРП), на водоразделе нижних течений рек Селигдара и Якукота в Южной Якутии. Поселок Верхний Куранах основан в 1942 г. как посёлок дражников прииска Ленинский. Поселок городского типа Нижний Куранах основан в 1945 г. Первая старательская артель «Горняк» вела добычу золота и строила посёлок. Прииск Н. Куранах создан в 1947 г., расположен на берегу р. Большой Куранах. Нижний Куранах является центром золотодобывающей промышленности Центрального Алдана [1].

Основной целью проведенных исследований являлось изучение радиоэкологической ситуации и оценка радиационной и обще-экологической обстановки, сложившейся в настоящее время на территории 9 золоторудных месторождениях КРП, включающих месторождения «Северное», «Порфировое», «Центральное», «Южное», «Первухинское», «Боковое», «Дорожное», «Дэлбэ» и «Канавное».

Объекты и методы

Объектами изучения являлись горные породы и почвогрунты золоторудных месторождений Куранахского рудного поля (рис. 1). Они образовались в толще нижнекембрийских карбонатных отложений на границе последних с нижнеюрской толщей и имеют парагенетическую связь с субмеридиональными дайками минетта-ортофир-бостонитового состава [2].

Обе толщи залегают почти горизонтально поверх раннекембрийского кристаллического фундамента. Характерно широкое распространение мезозойских магматических образований. Руды во всех залежах выветрелые и включают глину, песок, обломки и глыбы вмещающих пород и первичных руд. В последних установлены: пирит (3-20 %), халькопирит, пирротин,

сфалерит, арсенопирит и теллуранты. Золото дисперсное, редко мелкое. Наряду с Au характерны высокие содержания Ag, Bi, Mo и Cu [2].

На первоначальном этапе работ на всех выбранных месторождениях КРП была проведена маршрутная и площадная (по произвольной сети наблюдений) гамма-съемка с использованием радиометра СРП-68-01 по методике, принятой в геологии и радиационной экологии [4-6] (рис. 1).

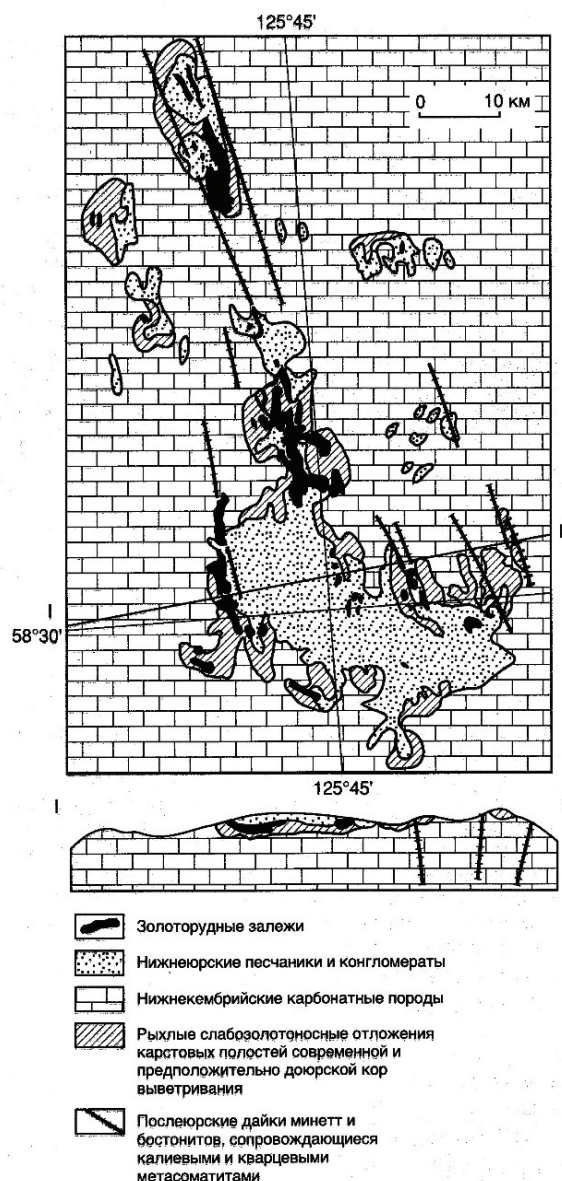


Рис. 1. Геологическое строение Куранахского рудного поля [3]

При этом измерение мощности дозы гамма-излучения радиометром проводилось, как на высоте 1 м от излучающей поверхности, так и вблизи ее, в пределах 0,1 м. Оценка величины мощности дозы гамма-излучения (МЭД) производилось по среднеарифметическому значению 3-5 измерений в каждой точке обследования. В результате дозиметрической гамма-съемки были выбраны участки для отбора проб мелкозема грунтов и определения содержания в них естественных радионуклидов ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th . В качестве спектрометрической измерительной аппаратуры был использован многоканальный анализатор «Прогресс-Гамма» со сцинтилляционным детектором NaI(Tl) размером 63х63 мм, с 7,3 % разрешением по гамма-линии ^{137}Cs

(666 Кэв). Гамма-спектрометрические измерения проб проведены в сосудах Маринели объемом 1 л. Обработка гамма-спектров осуществлялась матричным методом с помощью программного обеспечения «Прогресс», а максимальная погрешность измерения была не более $\pm 30\%$ [7].



Рис. 2. Точки измерения гамма-фона на территории КРП

Результаты и их обсуждение

Результаты работ показали, что мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на поверхности отвалов и карьеров (рис. 3) изменяется от 7 на месторождении «Порфировое» до 23–26 мкР/ч на месторождении «Северное» (табл. 1). При этом на обследованной территории величина средней МЭД оказалась наименьшей на месторождении «Порфировое» (11 мкР/ч), а наибольшей на месторождениях «Канавное» – 18 мкР/ч и «Южное» – 19 мкР/ч. Обнаруженные величины мощности экспозиционной дозы гамма-излучения в целом характерны для карбонатных и терригенных осадочных пород. Отметим также, что на территории России гамма-фон на открытой местности обычно составляет 5–20 мкР/ч [8].



Рис. 3. Подготовленные к взрыву горные породы месторождения «Дэлбэ»

Таблица 1 – Среднее значение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на месторождениях КРП

№	Месторождения	n	МЭД, мкР/ч
1	Северное	31	14±3
2	Порфиоровое	14	11±3
3	Центральное	28	14±2
4	Южное	10	19±4
5	Первухинское	20	15±2
6	Боковое	6	15±3
7	Дорожное	21	15±2
8	Дэлбэ	15	15±1
9	Канавное	11	18±1

Примечание. Здесь и далее n-объем выборки; 14±3 – среднее значение и его ошибка

Результаты исследований показали, что в мелкоземе пород отвалов и карьеров концентрация ^{40}K варьирует от 0.6 до 10.1 мг/кг, ^{238}U – 0.8-12.3, а ^{232}Th – 0.5-10.8 мг/кг (табл. 2). Кроме измерений гамма-фона и определения концентраций естественных радионуклидов в почвогрунтах и горных породах отвалов оценивали также эффективную удельную активность радионуклидов (Аэфф) по формуле, принятой в нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [9]:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3A_{\text{Th}} + 0,09A_{\text{K}},$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th , находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, A_{K} – удельная активность ^{40}K (Бк/кг).

Таблица 2 – Среднее содержание естественных радионуклидов в мелкоземе горных пород на месторождениях КРП

№	Месторождения	n	⁴⁰ K	²³² U	²³² Th	Аэфф., Бк/кг
			мг/кг			
1	Северное	12	3.5±2.5	3.6±0.8	5.3±2.3	165±76
2	Порфиоровое	7	3.0±1.6	3.4±4.0	3.8±2.3	142±67
3	Центральное	13	3.5±1.2	3.8±1.7	5.5±2.3	147±46
4	Южное	4	6.5±2.2	5.8±1.2	7.8±1.9	304±58
5	Первухинское	7	4.4±1.1	3.0±1.0	5.3±1.8	182±41
6	Боковое	3	3.6±0.6	2.0±0.2	6.2±0.5	166±25
7	Дорожное	4	4.8±1.3	3.2±1.2	5.8±1.8	197±56
8	Дэлбэ	6	4.0±0.7	2.2±1.8	4.9±1.0	160±30
9	Канавное	4	4.3±0.7	4.0±0.7	7.5±1.3	204±29

Эффективная удельная активность радионуклидов в мелкоземе горных пород изменяется от 38 до 386 Бк/кг (табл. 2). При этом максимальное значение эффективной удельной активности радионуклидов было обнаружено в отвалах месторождений «Северное» и «Южное» 376 и 386 Бк/кг соответственно. В настоящее время значение эффективной удельной активности радионуклидов является основной определяющей характеристикой потенциальной радиационной опасности производственных отходов, содержащих опасные для работников предприятий и населения природные радионуклиды. Обнаруженные максимальные значения Аэфф радионуклидов в мелкоземе отвалов месторождений «Северное» и «Южное» немного превышают величину, установленную для строительных материалов (370 Бк/кг), используемых в строящихся и реконструируемых жилых общественных зданиях (I класс) [9]. Средние содержания ^{238}U и ^{232}Th в мелкоземе отвалов и карьеров исследованных месторождений в целом соответствуют таковым, характерным для осадочных горных пород (песчаники, алевролиты, доломиты, известняки и др.) континента [10]. Немного повышенные концентрации калия в мелкоземе пород

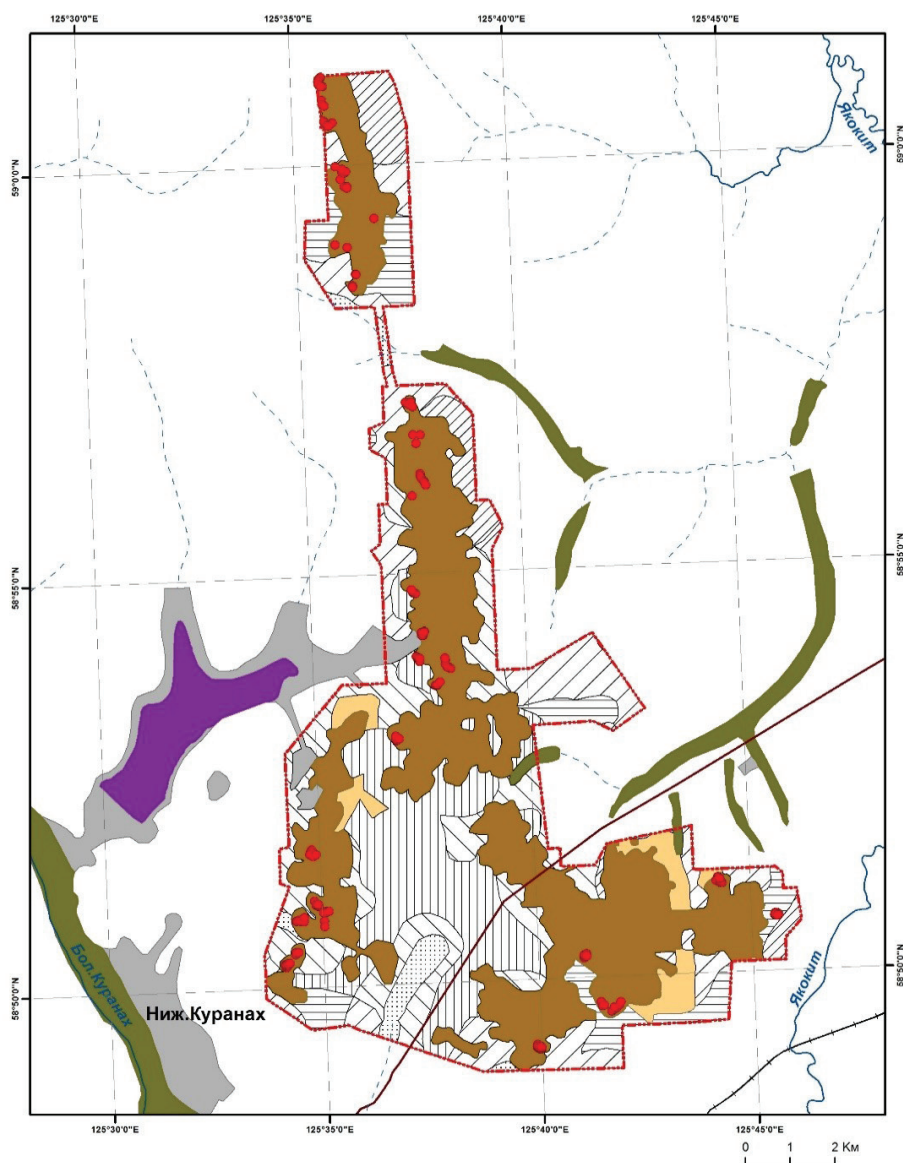
обследованных месторождений по сравнению с осадочными породами, видимо, обусловлены генетическими особенностями изученных месторождений. Как известно, важным элементом структуры месторождений Куранахского типа являются протяжённые дайки калиевых минералов и сиенит-порфиринов, которые заполняют трещины в пределах зон тектонических нарушений, контролируемых рудные залежи. Наиболее высокое среднее значение удельной эффективной активности радионуклидов было обнаружено в мелкозернистых горных породах на месторождении «Южное» (304 Бк/кг), а наименьшее – на месторождении «Порфировое» (142 Бк/кг).

Помимо оценки радиоэкологической обстановки на исследуемой территории, нами также изучалось общее экологическое состояние природной среды в районе Куранахского рудного поля (рис. 4). Из выделенных ландшафтов наибольшую площадь на междуречьях занимают гари и лесосеяны, а в долинах рек – дражные полигоны [12]. Техногенные ландшафты наложены на природные. Степень деградации (изменения) природных ландшафтов в границах техногенных неодинакова. Практически полностью изменены природные ландшафты в пределах площадей населенных пунктов, сельхозугодий, карьеров, отвалов, дражных полигонов [13-14]. Наименьшая степень изменений характерна для площадей лесоразработок последних 10 лет, когда использовался метод частичной, полосной вырубki, с последующей очисткой лесосеяны [11].

Добыча рудного золота на территории КРП осуществляется открытым способом. Карьеры и отвалы вскрышных работ, расположенные на водоразделе Селигдар – Якокун, занимают площадь около 10 км². Участки золотодобычи представляют собой «лунный ландшафт», где карьеры глубиной до 45 м чередуются с отвалами и терриконами высотой до 25 м (рис. 5). В процессе добычи рыхлые отложения, выполняющие карстовые полости, извлекаются на всю мощность, что приводит к общему повышению температуры массива горных пород. Днища карьеров находятся выше уровня подземных вод и инфильтрация атмосферных осадков через вскрытые карстовые полости, помимо тепляющего воздействия, вызывает активизацию карстово-суффозионных процессов, оползни и интенсивное оврагообразование [11].

Таблица 3 – Пространственное распределение ландшафтов на территории Куранахского рудного поля

№	Группа типов урочищ	Площадь типа, кв. км	% от общей площади
1	Приводораздельные междуречные пространства плато на карбонатных породах	6.5	6.6
2	Приводораздельные междуречные пространства плато на терригенных породах	15.5	15.7
3	Пологие склоны долин рек и плато на карбонатных породах	4.3	4.4
4	Очень пологие склоны долин рек и плато на карбонатных породах	11.8	12
5	Очень пологие склоны долин рек и плато на терригенных породах	12.1	12.3
6	Днища долин малых рек	2	2
7	Рудничные карьеры и отвалы	42.5	43.1
8	Дражные полигоны	0.3	0.3
9	Промплощадки	0.9	0.9
10	Вырубki	2.7	2.7
Всего		98.6	100



1. Приводораздельные междуречные пространства плато на карбонатных породах
2. Приводораздельные междуречные пространства плато на терригенных породах
3. Пологие склоны долин рек и плато на карбонатных породах
4. Очень пологие склоны долин рек и плато на карбонатных породах
5. Очень пологие склоны долин рек и плато на терригенных породах
6. Днища долин малых рек

территория проекта

- рудничные карьеры и отвалы
- дражные полигоны
- селитьба и промплощадки
- вырубки
- хвостохранилище

• точки отпробования

— автоторога "Лена"

— железная дорога

Рис. 4. Карта-схема территории Куранахского рудного поля



Рис. 5. Отвалы горных пород месторождения «Центральное»

Одним из основных факторов, активизирующих экзогенные геоморфологические процессы, являются пожары. Анализ материалов аэрофотосъемки показывает, что 80 % территории в то или иное время подвергалось лесным пожарам [11]. Пожары в большинстве случаев способствуют ухудшению свойств почв [15]. На террасах с избыточным увлажнением и торфяными почвами после пожаров наблюдается прогрессивное развитие процессов заболачивания и термокарста с возникновением новых болотных биоценозов. Пожары в редкостойных лишайниковых лесах на крутых и средней крутизны склонах, а также в подгольцовом поясе с зарослями кедрового стланика, способствуют развитию структурных грунтов – курумов [11, 16].

Здесь также отмечается многофакторное антропогенное и техногенное воздействие на природные ландшафты (уничтожение почвенно-растительного покрова, изменение естественного рельефа местности, изъятие почвенного мелкозема, техногенное загрязнение почвогрунтов токсичными веществами, такими как промышленно-бытовые стоки и тяжелые металлы). Вследствие этого эколого-геологическая оценка на территории КРП может быть охарактеризована как напряженная, а в отдельных случаях даже как кризисная (рис. 6).

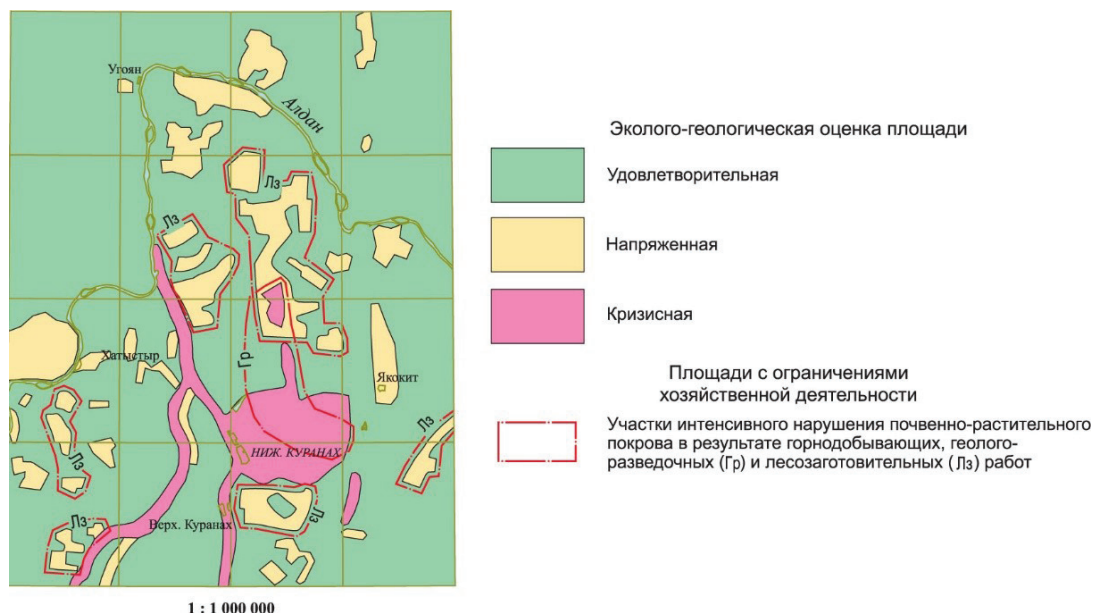


Рис. 6. Эколого-геологическая оценка исследуемой территории [11]

Заключение

Проведены радиоэкологические и общеэкологические исследования на 9-ти золоторудных месторождениях Куранахского рудного поля, а именно, на месторождениях «Северное», «Порфиоровое», «Центральное», «Южное», «Первухинское», «Боковое», «Дорожное», «Дэлбэ» и «Канавное» с целью оценки обстановки, сложившейся здесь в ходе многолетней и широко-масштабной разработки данных месторождений.

Результаты работ показали, что значения МЭД на поверхности отвалов и карьеров изменяется от 7 на месторождении «Порфиоровое» до 23-26 мкР/ч на месторождении «Северное». При этом, на обследованной территории величина средней МЭД оказалось наименьшей на месторождении «Порфиоровое», равной 11 мкР/ч, а наибольшей на месторождениях «Канавное» – 18 мкР/ч и «Южное» – 19 мкР/ч. В мелкоземле пород отвалов и карьеров концентрация ^{40}K варьирует от 0.6 до 10.1 мг/кг, ^{238}U – 0.8-12.3, а ^{232}Th – 0.5-10.8 мг/кг. Средние содержания ^{238}U и ^{232}Th в мелкоземле отвалов и карьеров исследованных месторождений в целом соответствуют таковым, характерным для осадочных горных пород. Эффективная удельная активность радионуклидов в мелкоземле горных пород изменяется от 38 до 386 Бк/кг. При этом максимальные значения эффективной удельной активности радионуклидов были обнаружены в отвалах месторождений «Северное» и «Южное» и составляли 376 и 386 Бк/кг соответственно.

Помимо оценки радиоэкологической обстановки на исследуемой территории, нами также изучалось общее экологическое состояние природной среды в районе Куранахского рудного поля. Из выделенных ландшафтов наибольшую площадь на междуречьях занимают гари и лесоседеяны, а в долинах рек – дражные полигоны. Техногенные ландшафты наложены на природные. Степень деградации природных ландшафтов в границах техногенных неодинакова. Практически полностью изменены природные ландшафты в пределах площадей населенных пунктов, сельхозугодий, карьеров, отвалов, дражных полигонов.

Добыча рудного золота на территории КРП осуществляется открытым способом. Карьеры и отвалы вскрышных работ, расположенные на водоразделе рек Селигдар – Якут, занимают площадь около 10 км². Участки золотодобычи представляют собой «лунный ландшафт», где карьеры глубиной до 45 м чередуются с отвалами и терриконами высотой до 25 м. Одним из основных факторов, активизирующих здесь экзогенные геоморфологические процессы, являются также пожары. Анализ материалов аэрофотосъемки показывает, что 80 % территории в то или иное время подвергалось влиянию лесных пожаров.

В целом по результатам проведенных исследований можно констатировать, что радиоэкологическая обстановка в исследуемом районе в настоящее время оценивается как благоприятная, а общеэкологическая – как напряженная и в отдельных случаях даже как кризисная.

Литература

1. Алданский улус: История. Культура. Фольклор. – Якутск: Изд-во «Бичик», 2004. – 280 с.
2. Утробин Д.В., Шевченко В.И., Воробьев К.А., Шумбасова Г.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Алданская. Лист О-52-VII (Томмот). Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 276 с.
3. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
4. Инструкция по работе со сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках / под ред. А.Г. Ветрова. – Л.: Рудгеофизика, 1986. – 44 с.
5. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.
6. Прудкина М.И., Шашкин В.Л. Справочник по радиометрической разведке и радиометрическому анализу. – М.: Энергоиздат, 1984. – 168 с.

7. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением “Прогресс”. – М.: Центр метрологии, 2003. – 16 с.
8. Маргулис У.Я., Брегадзе Ю.И. Радиационная безопасность. Принцип и средства ее обеспечения. – М.: Эдиториал УРСС, 2000. – 120 с.
9. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Центр нормативно-технической информации «Медиа Сервис», 2019. – 118 с.
10. Разведочная ядерная геофизика: Справочник геофизика / под ред. О.Л. Кузнецова, А.Л. Поляченко – М.: Недра, 1986. – 432 с.
11. Воробьев К.А., Шумбасова Г.А. Государственная карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000. Серия Алданская. Лист О-51-XVIII. Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 370 с.
12. Федоров А.Н., Горохов А.Н., Макаров В.С., Васильев Н.Ф. Ландшафтное картографирование Центрально-Алданского золотоносного района с использованием ГИС-технологий / А.Н. Федоров, А.Н. Горохов, В.С. Макаров, Н.Ф. Васильев // Проблемы региональной экологии. – 2008. – № 2. – С. 128-131.
13. Артамонова С.Ю., Шумилов Ю.В. К проблеме экологически безопасного природопользования на территории работ АК «Алданзолото» / С.Ю. Артамонова, Ю.В. Шумилов // Наука и образование. – 1998. – № 1. – С. 23-26.
14. Иванов В.В., Миронова С.И., Шумилов Ю.В., Вольперт Я.Л., Тарабукина В.Г., Брук М.Л., Руденко С.Н. Природно-техногенные экосистемы Южной Якутии. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 186 с.
15. Чевычелов А.П. Лесные пожары на Северо-Востоке России и их влияние на почвенный покров / А.П. Чевычелов // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2017. – № 2. – С. 51-58.
16. Чевычелов А.П. Лесные пожары в Якутии и их влияние на почвенный покров в аспекте прогнозируемого изменения климата / А.П. Чевычелов // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле. – 2019. – № 1(13). – С. 55-67.

References

1. Aldanskij ulus: Istorija. Kul'tura. Fol'klor. – Jakutsk: Izd-vo «Bichik», 2004. – 280 s.
2. Utrobin D.V., Shevchenko V.I., Vorob'ev K.A., Shumbasova G.A. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200 000. Serija Aldanskaja. List O-52-VII (Tommot). Ob#jasnitel'naja zapiska. – М.: MF VSEGEI, 2013. – 276 s.
3. Tektonika, geodinamika i metallogenija territorii Respubliki Saha (Jakutija). – М.: МАИК «Наука/Interperiodika», 2001. – 571 s.
4. Instrukcija po rabote so scintilljacionnymi radiometrami pri geologicheskikh s#jomkah i poiskah / pod red. A.G. Vetrova. – L.: Rudgeofizika, 1986. – 44 s.
5. Moiseev A.A., Ivanov V.I. Spravochnik po dozimetrii i radiacionnoj gigiene. – М.: Jenergoatomizdat, 1984. – 296 s.
6. Prudkina M.I., Shashkin V.L. Spravochnik po radiometricheskoj razvedke i radiometricheskomu analizu. – М.: Jenergoizdat, 1984. – 168 s.
7. Metodika izmerenija aktivnosti radionuklidov s ispol'zovaniem scintilljacionnogo gamma-spektrometra s programmym obespecheniem “Progress”. – М.: Centr metrologii, 2003. – 16 s.
8. Margulis U.Ja., Bregadze Ju.I. Radiacionnaja bezopasnost'. Princip i sredstva ee obespechenija. – М.: Jeditorial URSS, 2000. – 120 s.
9. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009): Sanitarno-jepidemiologicheskie pravila i normativy SanPiN 2.6.1.2523-09. – М.: Centr normativno-tehnicheskoy informacii «Media Servis», 2019. – 118 s.
10. Razvedochnaja jadernaja geofizika: Spravochnik geofizika / pod red. O.L. Kuznecova, A.L. Poljachenko – М.: Nedra, 1986. – 432 s.
11. Vorob'ev K.A., Shumbasova G.A. Gosudarstvennaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200 000. Serija Aldanskaja. List O-51-XVIII. Ob#jasnitel'naja zapiska. – М.: MF VSEGEI, 2013. – 370 s.