

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОБСТАНОВКА В РАЙОНЕ МОНАЦИТОВОЙ РОССЫПИ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

© 2019 г. П. И. Собакин\*, Я. Р. Герасимов, А. А. Перк

*Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН  
Россия, 677980 Якутск, просп. Ленина, 41  
\*e-mail: radioecolog@yandex.ru*

Поступила в редакцию 27.03.2017 г.

После доработки 26.07.2018 г.

Принята к публикации 01.08.2018 г.

Приведены результаты радиоэкологического обследования территории добычи монацита из россыпи Васильевка в южной части Якутии. Выявлены процессы разработки месторождения, сопровождающиеся локальным радиоактивным загрязнением местности, что обуславливает высокие значения мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на дневной поверхности и повышенную концентрацию тория в почвогрунтах, почвах и растениях. Обнаружены участки естественной концентрации тория в аллювиальных отложениях, создающие аномально высокие значения мощности дозы гамма-излучения на поверхности и превышающие в 9–23 раза нормальный природный радиационный фон. Оценены масштабы ветрового рассеяния тория из источника загрязнения по его вертикальному распределению в почвенном профиле подбуров.

**Ключевые слова:** Южная Якутия, Алданское нагорье, россыпь, монацит, разработка, радиоэкологическая обстановка, радиометрическая съемка, естественные радионуклиды, почва, растения

DOI: 10.31857/S0016-7525644440-448

### ВВЕДЕНИЕ

Первые поисково-разведочные работы на россыпях монацита в южной части Якутии проведены в 30–40-х годах прошлого века. В результате было установлено широкое распространение в аллювиальных отложениях монацита в Алданском, Тыркандинском, Учурском, Сутамском и других рудных районах (Горошко и др., 2006). Позже, в 1947–1950 гг. Таежной геологоразведочной экспедицией выявлены, разведаны и подсчитаны запасы монацита на двух участках Алданского рудного района. В пределах Центрального участка изучены россыпи Керакская, Николкинская, Васильевская, Михайловская, Малолеглиерская, Малонимырское и др.; на Южном участке изучены россыпи Хатыминская, Кавахтинская, Джектологинская, Нергинская и др. (Пятов, 2005). В связи с возможностью использования тория в атомной промышленности Правительством СССР в 1949 г. было принято решение начать добычу монацита на р. Васильевке (правый приток р. Ороченки) Якутской АССР. Однако со временем необходимость в торийсодержащем сырье отпала и, соответственно,

в 1952 г. добыча монацита из россыпи Васильевка была прекращена (Пятов, 2005). В настоящее время публикаций об использованной технологии добычи монацита в данном районе не имеется. Судя по характеру выполненных работ, можно предположить, что основная добыча монацита из россыпи велась подземным способом на трех шахтах, расположенных в надпойменной террасе реки. Возможно, также немного монацита добывали и из поверхностных горизонтов россыпи. Это подтверждается следами бульдозерных работ в долине реки, наличием складированных в отвалы вскрышных пород (пески, гравии и валуны) и специально сооруженного водоотводного канала. В процессе разработки россыпи, полученные после гравитационного способа обогащения пески (шлихи) с монацитом, по-видимому, отправляли в шлиходоводочную фабрику для магнитной сепарации. Поэтому часть обогащенных песков, складированных к моменту закрытия монацитдобывавшего предприятия, в настоящее время находится около здания обогатительной фабрики, расположенной в верхней части водораздельного склона, недалеко от шахт. Для уменьшения

мощности дозы гамма-излучения высокорadioактивных шлихов в период хранения также были сооружены специальные деревянные ящики, заполненные песчано-гравийно-галечной смесью. В середине таких ящиков имеются небольшие квадратные колодцы с деревянными стенками из досок для размещения шлихов, затаренных в мешки. Склад хранения шлихов был обнаружен вблизи обогатительной фабрики, где на небольшом участке, заросшем растительностью, уцелевшие остатки ящиков расположены рядами. Радиоэкологические исследования на месте добычи монацита из россыпи Васильевка впервые проводились в 90-х годах прошлого века (Собакин, 1998; Собакин, Молчанова, 1998; Ложников, 2004). Однако результаты этих научных работ в целом недостаточно раскрывают радиоэкологическую обстановку на обследованной территории в связи с небольшим объемом полученных данных.

Целью настоящего исследования была оценка современной радиоэкологической обстановки в районе разработки монацитовых россыпей р. Васильевки экспресс-полевыми гамма- и гамма-спектрометрическими методами, определение уровней и особенностей распределения  $^{232}\text{Th}$  в почвенно-растительном покрове в условиях техногенного загрязнения.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемая территория расположена на юге Республики Саха (Якутия) в центральной части Алданского нагорья на месте разработки россыпей монацита р. Васильевки с абсолютными отметками 1123–1221 м над уровнем моря. В геологическом строении района участвуют кристаллические сланцы, гнейсы и гранитоиды архея (Геологическая карта..., 1978). Территория характеризуется резко континентальным холодным гумидным климатом и прерывистым распространением многолетнемерзлых пород. Растительность представлена редкостойным листовенным мохово-лишайниковым кустарниковым лесом. Основу строения почвенного покрова на данной территории составляют подбуры типичные и оподзоленные, формирующиеся на элюво-делювии магматических и метаморфических пород (граниты, сланцы и гнейсы). На водораздельном склоне и в надпойменной террасе р. Васильевки в местах островного распространения многолетнемерзлых пород развиты бугры пучения и заболачивания местности. В этих условиях в зависимости от типа

мезорельефа (бугор, склон, низина) формируются торфяники верховые, переходные и низинные. В настоящее время место разработки россыпей монацита р. Васильевки представляет собой полигон для открытой добычи сырья, законсервированных шахт, разрушенных барачков и уцелевших остатков здания обогатительной фабрики месторождения (рис. 1 и 2). Возле шахт складированы в отвалы пески, обогащенные монацитом. Все технологическое оборудование с территории шахт и обогатительной фабрики вывезено. На первоначальном этапе работ для оценки общей радиационной обстановки проведена площадная гамма-съемка с помощью радиометра СРП-68-01 (НТП «Промприбор», Россия) по прямоугольной сети наблюдения на территории, охватывающей места расположения шахт и фабрики. При этом расстояние между профилями составляло 250 м, а между точками измерений в профиле – 100 м. После площадной съемки на территории шахт, фабрики и на месте складирования вскрышных пород по произвольным точкам выполнены гамма- и гамма-спектрометрические измерения. Подобные наблюдения в поисковом режиме выполнены в поймах р. Васильевки, руч. Озерного и на водосборной поверхности (рис. 2). Детальная площадная радиометрическая съемка проведена на месте расположения обогатительной фабрики по более плотной сети, которая равнялась 20 м между профилями и 18 м между точками в профиле. Все измерения с помощью радиометра СРП-68-01 и переносного гамма-спектрометра МКС-АТ6101Д (НПЦ «Радек», Россия) выполнены по методике, принятой в геологии и радиоэкологии (Инструкция..., 1986; Методика..., 2007). Согласно методике выполнения измерений данными приборами, величину мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и концентрации естественных радионуклидов – ка-



Рис. 1. Зарастающий растительностью отвал радиоактивных песков. На заднем плане остатки здания обогатительной фабрики.

Республика Саха (Якутия)  
на карте Российской Федерации

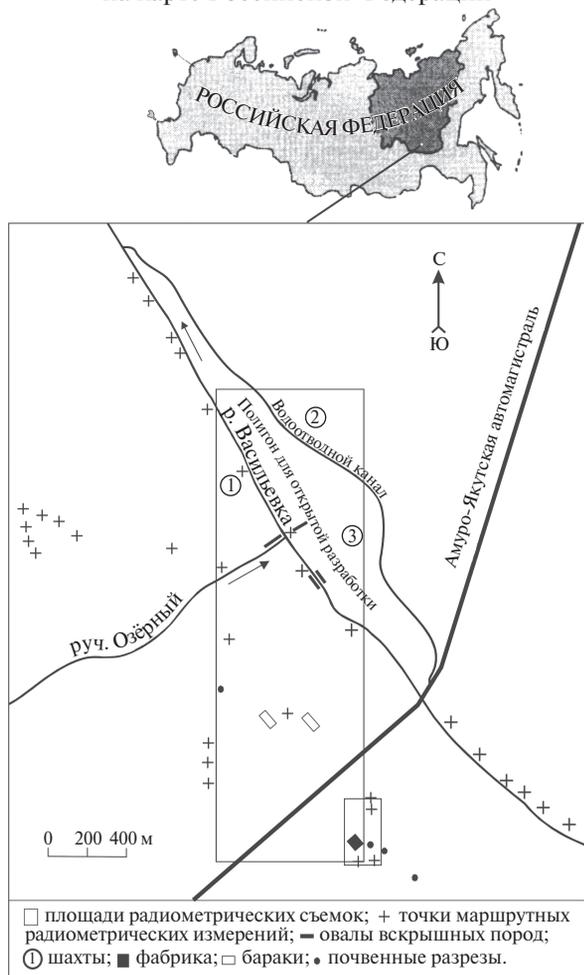


Рис. 2. Карта-схема района исследования.

лия, урана (по радию) и тория – измеряли на уровне поверхности земли в 411 точках. Разбивку сети наблюдений осуществляли с помощью спутникового навигационного устройства Etrex H (Garmin Ltd., США). По результатам съемок обследованной территории составлена карта гамма-поля по мощности экспозиционной дозы и концентраций естественных радионуклидов (ЕРН) с помощью программы Surfer 7. От отвала песков, обогащенного торием и складированного около здания обогатительной фабрики, по направлению розы ветров (северо-запад) на разных расстояниях (25, 80 и 365 м) закладывали почвенные разрезы, из которых вели отбор образцов с учетом границ их генетических горизонтов до глубины 40 см. В изученных типах подбуров (типичный, оподзоленный) в верхней части выделяются лесная подстилка  $A_0$ , переходящая в гумусово-перегнойный  $A_0A_1$  и гумусово-аккумулятивный  $A_1A_2$  горизонты,

под которыми залегают оподзоленный  $A_2B$ , иллювиальный  $B$  горизонты и материнская порода  $BC$  ( $C$ ). Подбуровы имеют небольшой по мощности почвенный профиль, кислую реакцию рН водной вытяжки, грубогумусность в верхней части профиля, промывной водный режим, ненасыщенный основаниями почвенно-поглощающий комплекс и супесчано-легкосуглинистый щебнисто-каменистый гранулометрический состав. Вблизи зарастающего растительностью отвала радиоактивных песков отбирали образцы различных видов растений. Образцы почв и растений высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего растительные пробы озоляли в муфельной печи при температуре  $450^\circ\text{C}$ . В приготовленных образцах содержание тория в сосудах Маринелли (почвы) и чашках Петри (зола растений) определяли гамма-спектрометром «ПрогрессГамма» со сцинтилляционным детектором NaI (Т1) при ошибке счета не более 30% (Методика..., 2003).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На обследованной территории по результатам площадной радиометрической съемки по величине мощности экспозиционной дозы гамма-излучения была составлена карта гамма-поля (рис. 3). Форма изолиний на карте в целом зависит от геологических особенностей территории и в какой-то мере от техногенного воздействия на нее. Относительно высокие по уровню мощности дозы участки, ограниченные изолиниями 20–50  $\mu\text{R}/\text{ч}$  вдоль русла р. Васильевки, связаны с радиоактивностью россыпи монацита. Большую часть площади съемки занимают метаморфические породы (кристаллические сланцы и гнейсы), которые на карте гамма-поля характеризуются пониженными (менее 10–20  $\mu\text{R}/\text{ч}$ ) величинами мощности экспозиционной дозы. Полей распространения гранитов радиометрической съемкой охвачено немного, они на юге-западе площади занимают узкий участок с мощностью дозы более 20–40  $\mu\text{R}/\text{ч}$ . На обследованной территории, по радиометрическим данным, средний уровень нормального естественного радиационного фона можно принять в 20  $\mu\text{R}/\text{ч}$ . Наиболее крупный по площади и интенсивный по мощности дозы участок техногенного загрязнения был обнаружен в районе расположения обогатительной фабрики, где проводились шлиходо-водочные работы. На этом участке при относительно высоком общем уровне радиационного фона на поверхности почвогрунтов величина

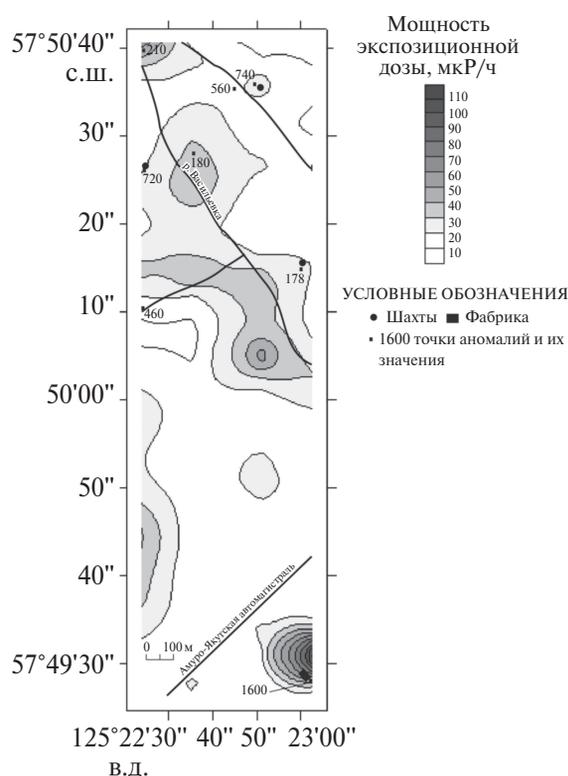


Рис. 3. Карта гамма-поля в районе разработки монацитового россыпи.

мощности экспозиционной дозы гамма-излучения достигала 1600 мкР/ч, превышая средний естественный радиационный фон в 80 раз (рис. 3). Возможно, здесь загрязнение связано с тем, что высокообогащенные торием шлихи частично были рассыпаны после магнитной сепарации. При радиометрическом обследовании территории шахт по произвольной сети наблюдения были обнаружены аномальные точки с мощностью дозы 178, 580, 720 и 740 мкР/ч. Как

правило, эти точки располагаются возле шахт в местах первичного обогащения песков монацитом на небольших площадях (160–1100 м<sup>2</sup>). Локальные участки с мощностью дозы 180, 210 и 460 мкР/ч, связанные с естественной концентрацией монацита в аллювиальных отложениях, выявлены в пойме и надпойменной террасе. Обнаруженные аномальные точки естественного и техногенного (возле шахт) происхождения при проведении площадной радиометрической съемки были пропущены из-за значительного размера прямоугольной сети наблюдения. Поэтому в структуре гамма-поля исследованной площади они не находят отображения, а на карте нанесены в виде отдельных точек. Маршрутные гамма- и гамма-спектрометрические измерения, проведенные в поймах р. Васильевки, руч. Озерного и на водосборной поверхности, показали, что мощность экспозиционной дозы гамма-излучения изменяется в широких пределах – от 11 до 460 мкР/ч (табл. 1). При этом максимум значений мощности дозы зафиксирован в пойме руч. Озерного – 460 мкР/ч, а минимум – на склоне водораздела – 11 мкР/ч. В целом средняя мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в поймах ручьев в 2–7 раза выше, чем на водосборной поверхности. Концентрация <sup>40</sup>K в рыхлых отложениях (пески, галечники и валунники) колеблется от 0.012·10<sup>-2</sup> до 0.100·10<sup>-2</sup> мас.%, <sup>238</sup>U – от 1.0·10<sup>-4</sup> до 54.3·10<sup>-4</sup> мас.%, а <sup>232</sup>Th – от 27·10<sup>-4</sup> до 3225·10<sup>-4</sup> мас.%. При этом содержание урана и тория в аллювиальных отложениях больше, чем в элювиально-делювиальных – в среднем в 5 и 17 раз соответственно. На месте, где зафиксирован максимальный уровень мощности дозы гамма-излучения (460 мкР/ч), обнаружено аномаль-

Таблица 1. Мощность экспозиционной дозы, содержание и эффективная удельная активность радионуклидов в рыхлых отложениях горных пород

| Элемент ландшафта, тип отложения (состав)                                              | n  | Мощность, дозы, мкР/ч        | <sup>40</sup> K, n·10 <sup>-2</sup> % | <sup>238</sup> U, n·10 <sup>-4</sup> % | <sup>232</sup> Th, n·10 <sup>-4</sup> % | A <sub>эфф.</sub> , Бк/кг           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|
| Пойма, аллювий (пески, галечники и валунники)                                          | 15 | $\frac{101 \pm 103}{30-460}$ | $\frac{0.034 \pm 0.02}{0.012-0.100}$  | $\frac{8.2 \pm 12.7}{1.0-54.3}$        | $\frac{345 \pm 800}{27-3225}$           | $\frac{1990 \pm 4391}{234-17\ 790}$ |
| Водораздельный склон, делювий кристаллических сланцев и гнейсов (глыбы, валуны, щебни) | 7  | $\frac{15 \pm 3,2}{11-20}$   | $\frac{0.024 \pm 0.004}{0.019-0.027}$ | $\frac{2.0 \pm 1.0}{0.4-3.3}$          | $\frac{12,0 \pm 8,8}{2-23}$             | $\frac{137 \pm 43}{96-207}$         |
| Вершина водораздельного склона, элювий аляскитовых гранитов (глыбы)                    | 10 | $\frac{46 \pm 12}{18-60}$    | $\frac{0.052 \pm 0.012}{0.021-0.059}$ | $\frac{1.2 \pm 0.4}{0.6-1.9}$          | $\frac{58 \pm 20}{16-68}$               | $\frac{434 \pm 116}{142-564}$       |

Примечания. Здесь и далее n – число точек гамма- и гамма-спектрометрических измерений; над чертой – среднее и его ошибка, под чертой – пределы изменения.

но высокое содержание тория ( $3225 \cdot 10^{-4}$  мас.%) в аллювиальных отложениях поймы. Такое содержание тория возможно только при высокой концентрации монацита в аллювии. Кроме измерения мощности экспозиционной дозы и определения концентраций ЕРН в рыхлых отложениях, также оценивали и эффективную удельную активность радионуклидов по формуле, принятой в нормах радиационной безопасности (Нормы..., 2009):

$$A_{\text{эфф.}} = A_{\text{Ra}} + 1.3A_{\text{Th}} + 0.09A_{\text{K}},$$

где  $A_{\text{Ra}}$  и  $A_{\text{Th}}$  – удельные активности  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ , находящихся в равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов,  $A_{\text{K}}$  – удельная активность  $^{40}\text{K}$  (Бк/кг). В настоящее время значение эффективной удельной активности радионуклидов является основной определяющей характеристикой класса строительных материалов (щебень, гравий, песок, бутовый и пиленный камень и др.) и потенциальной радиационной опасности производственных отходов, содержащих опасные для работников предприятий и населения ЕРН. Эффективная удельная активность радионуклидов в рыхлых отложениях горных пород на обследованной территории изменяется в широком диапазоне – от 96 до 17 790 Бк/кг (табл. 2). По эффективной удельной активности элювиально-делювиальные отложения кристаллических сланцев, гнейсов и гранитов можно отнести к первому и второму классу строительных материалов, т.е. к материалам, используемым в дорожном строительстве в пределах населенных пунктов и зон перспективной застройки. Аллювиальные пески, галечники и валунники по эффективной удельной активности радионуклидов в основном относятся ко второму и третьему классу строительных материалов, имеющих допуск к использованию

в дорожном строительстве внутри и вне населенных пунктов, а также при возведении производственных зданий. Из 15 обследованных точек поймы только в одном вышеперечисленные строительные материалы не пригодны к использованию в строительстве, т.е. их  $A_{\text{эфф.}}$  превышает 4000 Бк/кг – максимально допустимую норму, установленную санитарно-эпидемиологической службой. На территории шахт и фабрики мощность экспозиционной дозы гамма-излучения на уровне поверхности земли изменяется от 34 до 1600 мкР/ч. При этом эффективная удельная активность радионуклидов в почвогрунтах колеблется от 715 до 33 006 Бк/кг. В целом, согласно существующим санитарным нормам, радиоактивно загрязненные почвогрунты в основном можно отнести ко второй и третьей категориям радиоактивных отходов (Гигиенические..., 2003). В таких случаях должны оформляться санитарно-эпидемиологические заключения органов госсанэпиднадзора с определением условий и способов сбора, временного хранения, транспортировки и захоронения отходов.

Эффективная удельная активность радионуклидов в отвалах вскрышных пород в пойме и песках, складированных возле шахт, не превышают 1500 Бк/кг (табл. 3), поэтому они относятся к первой категории производственных отходов. Сбор, хранение, транспортировка и захоронение на свалках общепромышленных отходов для них по радиационному фактору осуществляется без ограничений. Обогащенные монацитом пески, складированные возле здания фабрики по эффективной удельной активности, в основном попадают во вторую категорию радиоактивных производственных отходов. Так как до настоящего времени какие-либо дезактивационные работы на территории шахт и фабрик

**Таблица 2.** Мощность экспозиционной дозы, содержание и эффективная удельная активность радионуклидов в почвогрунтах на территории шахт и фабрики

| Промплощадка | n  | Мощность, дозы, мкР/ч | $^{40}\text{K}$ ,<br>n·10 <sup>-2</sup> % | $^{238}\text{U}$ ,<br>n·10 <sup>-4</sup> % | $^{232}\text{Th}$ ,<br>n·10 <sup>-4</sup> % | $A_{\text{эфф.}}$ ,<br>Бк/кг |
|--------------|----|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------|
| Шахта 1      | 13 | $310 \pm 192$         | $0.033 \pm 0.015$                         | $14.8 \pm 10.8$                            | $761 \pm 576$                               | $4244 \pm 3116$              |
|              |    | 90–720                | 0.023–0.066                               | 0.4–37.3                                   | 151–1300                                    | 1024–12 242                  |
| Шахта 2      | 15 | $280 \pm 219$         | $0.044 \pm 0.030$                         | $53 \pm 87$                                | $570 \pm 656$                               | $3737 \pm 3687$              |
|              |    | 64–740                | 0.013–0.114                               | 2–271                                      | 115–2670                                    | 715–14 158                   |
| Шахта 3      | 8  | $135 \pm 32$          | $0.020 \pm 0.008$                         | $2.4 \pm 1.4$                              | $283 \pm 87$                                | $1557 \pm 449$               |
|              |    | 96–178                | 0.006–0.035                               | 1.2–5.4                                    | 184–394                                     | 1028–2043                    |
| Фабрика      | 18 | $235 \pm 426$         | $0.026 \pm 0.008$                         | $9.9 \pm 8.1$                              | $639 \pm 1714$                              | $3516 \pm 8936$              |
|              |    | 34–1600               | 0.014–0.042                               | 2.7–32.0                                   | 11–6300                                     | 172–33 006                   |

Примечания. См. табл. 1.

**Таблица 3.** Мощность экспозиционной дозы, содержание и эффективная удельная активность радионуклидов в породах отвалов

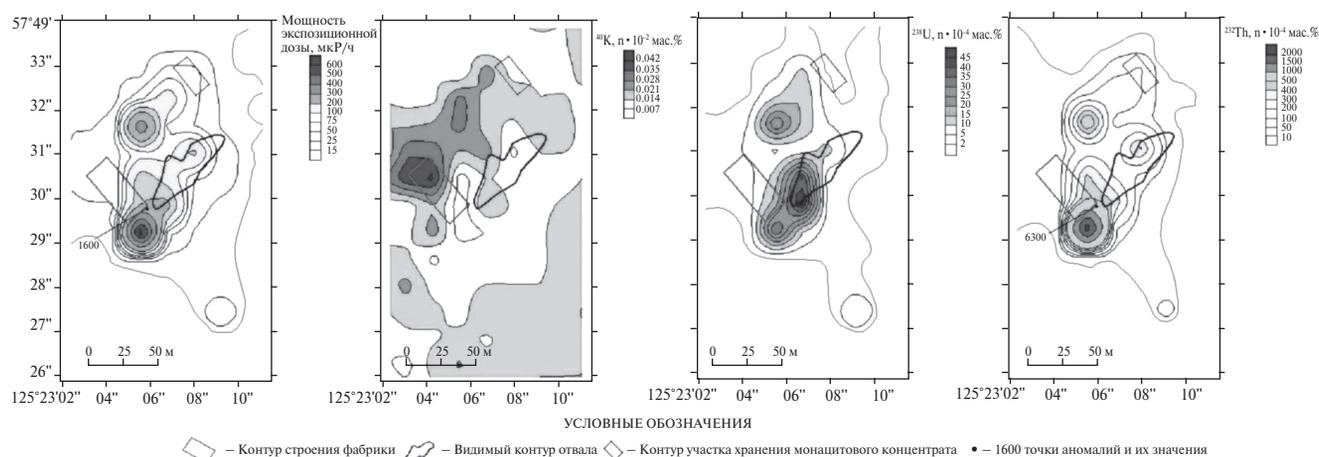
| Месторасположение и состав отвалов                     | n  | Мощность, дозы, мкР/ч   | <sup>40</sup> K, n·10 <sup>-2</sup> % | <sup>238</sup> U, n·10 <sup>-4</sup> % | <sup>232</sup> Th, n·10 <sup>-4</sup> % | A <sub>эфф.</sub> , Бк/кг    |
|--------------------------------------------------------|----|-------------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------|
| Надпойменная терраса, намывные пески (шахта 1)         | 6  | $36 \pm 3$<br>32–40     | $0.039 \pm 0.002$<br>0.037–0.042      | $1.8 \pm 0.7$<br>1.0–2.8               | $49 \pm 6$<br>40–56                     | $368 \pm 32$<br>327–403      |
| Надпойменная терраса, намывные пески (шахта 2)         | 9  | $43 \pm 6$<br>34–54     | $0.034 \pm 0.005$<br>0.028–0.045      | $6.5 \pm 4.5$<br>2.2–15.0              | $54 \pm 33$<br>12–118                   | $440 \pm 142$<br>295–747     |
| Надпойменная терраса, намывные пески (шахта 3)         | 10 | $42 \pm 15$<br>30–78    | $0.029 \pm 0.003$<br>0.024–0.035      | $4.5 \pm 2.3$<br>1.4–8.3               | $61 \pm 37$<br>26–156                   | $442 \pm 191$<br>270–937     |
| Верхняя часть водораздела, обогащенные пески (фабрика) | 18 | $224 \pm 89$<br>110–400 | $0.010 \pm 0.012$<br>0.004–0.057      | $16.9 \pm 7.6$<br>2.3–34.0             | $610 \pm 330$<br>228–1200               | $3427 \pm 1716$<br>1244–6432 |
| Пойма, вскрышные породы (пески, гравии и валуны)       | 21 | $59 \pm 23$<br>36–130   | $0.025 \pm 0.010$<br>0.014–0.034      | $7.2 \pm 7.5$<br>0.5–30.0              | $84 \pm 40$<br>42–189                   | $587 \pm 250$<br>267–1301    |

Примечания. См. табл. 1.

ки не проводились, радиоактивно загрязненные почвогрунты и отвал обогащенных песков могут стать дополнительными источниками внешнего облучения людей гамма-излучением в случае нахождения рядом с ними. Район исследования активно используется как территория любительской и промысловой охоты и рыбалки, а также как ягодные и грибные угодья. Велика вероятность проникновения людей на участки радиоактивного загрязнения возле законсервированных шахт и здания фабрики. Этому также способствует расположение монацитов россыпи рядом с федеральной Амуро-Якутской автомобильной трассой.

Детальная радиометрическая съемка в районе расположения фабрики показала, что форма изолиний мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на карте гамма-поля близка к форме изолиний концентраций тория и урана (рис. 4). В зоне техногенного загрязнения величину мощ-

ности экспозиционной дозы на поверхности в основном формируют гамма-излучения тория как главного поллютанта и, частично, урана. На их долю в среднем приходится 83 и 11% соответственно, от величины общей мощности дозы излучения (Высокоостровская и др., 1997). Вклад гамма-излучений радиоактивного калия в общей мощности дозы не превышает 6%. Поэтому на карте конфигурация изолиний концентрации калия в целом не похожа на конфигурацию изолиний мощности дозы. На картах распределения содержаний ЕРН основные интенсивные пятна загрязнения тория не совпадают с видимым контуром песчаного радиоактивного отвала, вместе с тем некоторые пятна урана попадают на его территорию. Это говорит о том, что радиоактивное загрязнение на промплощадке фабрики происходило в процессе обогатительных работ независимо от складирования в отвал радиоактивных песков. Нужно отметить, что в течение многих

**Рис. 4.** Карта гамма-поля и содержаний радионуклидов на территории обогатительной фабрики, мас. %.

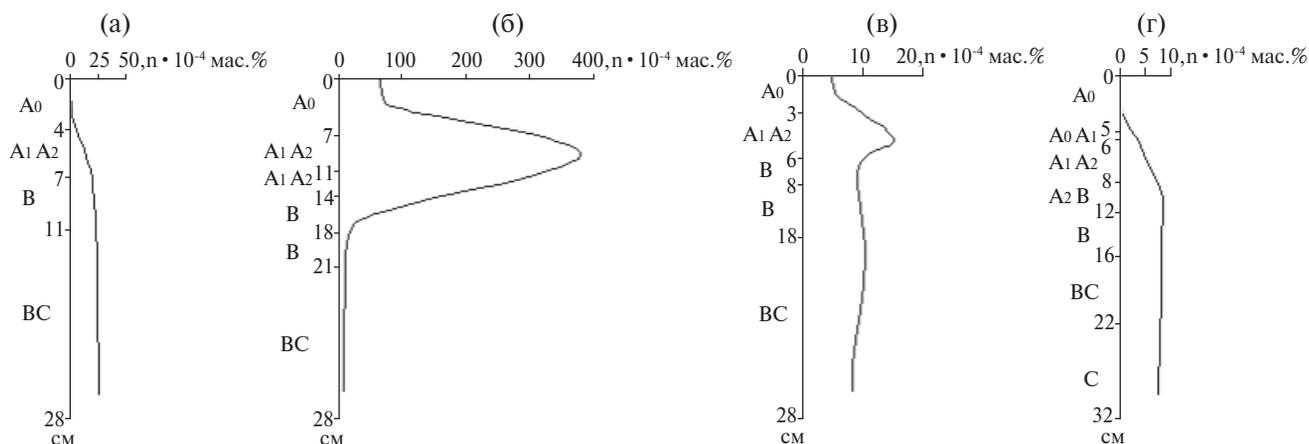


Рис. 5. Вертикальное распределение  $^{232}\text{Th}$  в почвенном профиле подбуров: с наветренной стороны от отвала — 1130 м (а); с подветренной стороны от отвала — 25 м (б), 80 м (в) и 365 м (г).

лет (64 года) пески из отвала были развеяны ветром в разные стороны, образуя ореол рассеяния в почвенном покрове. Поэтому реальные масштабы поверхностного радиоактивного загрязнения по площади могут быть больше, чем сама площадь съемки. В силу физических особенностей полевых гамма- и гамма-спектрометрических методов реальный контур поверхностного радиоактивного загрязнения вокруг отвала не может быть четко зафиксирован. Как известно, мощность экспозиционной дозы и содержание калия, урана и тория определяются в поверхностном слое земной коры, «насыщенном по гамма-излучению». Глубина его зависит от вещественного состава (почвы, коренные горные породы, продукты их дезинтеграции), плотности пород и других причин и меняется от 15–20 до 30–50 см (Высокоостровская и др., 1997). На карте гамма-поля и концентраций ЕРН в районе фабрики в основном отображены только наиболее радиоактивно загрязненные участки территории, которые ограничены изолинией мощности дозы выше 15 мкР/ч и концентрациями урана и тория более  $2 \cdot 10^{-4}\%$  и  $10 \cdot 10^{-4}$  мас.% соответственно.

Действительно, повышенная концентрация тория в почвенном профиле подбура обнаруживается в верхнем гумусово-аккумулятивном и органоминеральном горизонтах почвы на расстоянии от отвала песков до 365 м по розе ветров за пределами площади съемки (рис. 5). При этом горизонты почвы, наиболее загрязненные торием, располагаются на разной глубине, что объясняется обогащением верхней части почвы слаборадиоактивными органическими веществами (листья, хвоя, мелкие ветви и др.), снижением интенсивности его поступления по мере зарас-

тания растительностью отвала и вертикальной миграцией. При увеличении расстояния от источника загрязнения в верхнем 18-сантиметровом слое почв содержание тория уменьшается по сравнению с фоновым значением ( $5 \cdot 10^{-4}$  мас.%) в 24–1.2 раза.

В зоне техногенного загрязнения содержание тория в золе растений в зависимости от их места произрастания и видовых особенностей варьирует от  $20 \cdot 10^{-4}$  до  $151 \cdot 10^{-4}$  мас.% (табл. 4), что в 52–310 раз превышает его фоновую концентрацию (Собакин, Молчанова, 1994, 1998). Наибольшее содержание тория обнаружено в древесине лиственницы Каяндера (*Larix cajanderi*),

Таблица 4. Содержание  $^{232}\text{Th}$  в золе различных видов растений

| Мощность дозы, мкР/ч | Вид, часть растения                                                     | $^{232}\text{Th}$ , $n \cdot 10^{-4} \%$ |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 240                  | Лиственница Каяндера ( <i>Larix cajanderi</i> ) хвоя                    | 31                                       |
|                      | ветви                                                                   | 103                                      |
|                      | ствол                                                                   | 151                                      |
| 200                  | Ива ( <i>Salix</i> sp.) листья                                          | 26                                       |
| 200                  | Иван-чай узколистный ( <i>Chamerion angustifolium</i> ) надземная масса | 20                                       |
| 160                  | Осока ( <i>Carix</i> sp.) надземная масса                               | 71                                       |
| 250                  | Лишайник ( <i>Cladonia amaurocraea</i> )                                | 111                                      |
| 34                   | Лишайник ( <i>Cladonia stellaris</i> )                                  | 63                                       |
| 40                   | Мох ( <i>Pleurozium schreberi</i> )                                     | 83                                       |

а наименьшее — в надземной массе иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium*). При этом лишайник (*Cladonia stellaris*) и мох (*Pleurozium schereberi*), произрастающие относительно на небольших уровнях техногенного загрязнения (34–40 мкР/ч) вблизи отвала с подветренной стороны, аккумулируют значительно большее количество тория, чем надземная масса иван-чая узколистного, листья ивы (*Salix* sp.) и хвоя лиственницы — растений, которые растут на более высоких уровнях радиоактивного загрязнения (200–240 мкР/ч). В данной ситуации основное количество тория поступает в лишайники и мхи в составе аэральных твердых мелкодисперсных выпадений (Собакин, 2002; Собакин и др., 2014).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Район расположения россыпи монацита Васильевка в Алданском нагорье характеризуется сложной радиоэкологической обстановкой, связанной с геологическими особенностями территории и техногенным воздействием на нее. На обследованной территории величина естественного радиационного фона по мощности экспозиционной дозы гамма-излучения составляет 6–40 мкР/ч и более. Наибольшие значения мощности дозы характерны для массивов гранитных пород водораздела и аллювиальных отложений долины, к которым приурочено месторождение монацита. В пределах россыпи аномальные величины мощности дозы гамма-излучения на отдельных участках достигают 180–460 мкР/ч, что превышает нормальный природный радиационный фон в 9–23 раза. В процессе разработки россыпи в местах первичного и вторичного обогащения песков монацитом на территории шахт и фабрики происходило локальное поверхностное радиоактивное загрязнение местности. В таких условиях полевые радиометрические методы в основном выявляют участки с более высоким уровнем техногенных концентраций радионуклидов (торий, уран) в верхнем слое почвогрунта или почвы. Максимальная концентрация тория ( $6300 \cdot 10^{-4}$  мас.%), обнаруженная в почвогрунтах территории фабрики, превышает местный геохимический фон ( $35 \cdot 10^{-4}$  мас.%) в 180 раз. Здесь же зафиксировано самое высокое значение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на поверхности — 1600 мкР/ч. В процессе рассеяния тория в ландшафте значительную роль сыграл ветровой перенос мелкодисперсных твердых частиц из радиоактивного отвала песков в течение длительного времени. У различных видов растений (лиственница Ка-

яндера, ива, осока, иван-чай узколистый, мхи и лишайники), произрастающих на территории фабрики, содержание тория повышено по сравнению с фоновыми значениями на один-два порядка. На участках техногенного загрязнения возле шахт и фабрики обогащенные торием, частично и ураном, почвогрунты и песчаный отвал относятся к производственным радиоактивным отходам второй и третьей категории, которые требуют специального учета и захоронения. На обследованной территории повышенные значения мощности дозы гамма-излучения естественного и техногенного происхождения в пределах небольших участков могут стать дополнительным источником внешнего облучения людей при длительном их нахождении в таких местах.

### Источник финансирования

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ФИЦ ЯНЦ СО РАН — ИБПК СО РАН на 2020–2021 гг. по разделу радиационный мониторинг и радиоэкологии мерзлотных ландшафтов Якутии (№ 0376-2019-0003; рег. номер АААА-А17-117020110056-0).*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Высокоостровская Е.Б., Данилов В.С., Краснов А.И., Смыслов А.А. (1997) Использование аэрогамма-спектрометрических данных в радиационной экологии. *Российский геофизический журнал* (7–8), 5–17.
- Геологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Алданская. Лист О-51-XXIV. М., 1962, 5 с.
- Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения. Санитарно-эпидемиологические правила СП 2.6.1.1292-03. Москва: Минздрав России, 2003. 36 с.
- Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е. Металлогения урана Дальнего Востока России. М.: Наука 2006, 272 с.
- Инструкция по работе со сцинтилляционными радиометрами при геологических съемках и поисках. Отв. ред. А.Г. Ветров. Ленинград: Рудгеофизика, 1986. 44 с.
- Ложников Б.Н. Обследование урансодержащих отвалов горных пород на территории Якутии. Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): Матер. II респ. науч.-практ. конф. Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН» 2004, 284–292.
- Методика выполнения измерений эффективной удельной активности природных радионуклидов и поверхностной активности цезия-137 с применением спектрометра МКС-АТ6101Д. Санкт-Петербург 2007, 13 с.
- Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектроме-

тра с программным обеспечением «Прогресс». Центр метрологии, 2003, 16 с.

Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России 2009, 72 с.

Пятов Е.А. Стране был нужен уран. История геологоразведочных работ на уран в СССР. Под. ред. Г.А. Машковцева. М.: ВИМС, 2005, 246 с.

Собакин П.И. Особенности миграции тяжелых естественных радионуклидов в горно-таежных ландшафтах Южной Якутии: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Екатеринбург, 1998, 17 с.

Собакин П.И. (2002) Накопление тяжелых естественных радионуклидов мхами Южной Якутии. *Сибирский экологический журнал* (1), 29–34.

Собакин П.И., Герасимов Я.Р., Перк А.А. (2014) Радиоэкологическая обстановка геолого-разведочных работ и добычи радиоактивного сырья в Якутии. *Атомная энергия* 117 (4), 235–238.

Собакин П.И., Молчанова И.В. (1994) Радиоэкологические исследования техногенно-нарушенных участков ландшафта в зоне уранового месторождения Республики Саха (Якутия). *Дефектоскопия* (9), 70–74.

Собакин П.И., Молчанова И.В. (1998) Миграция тяжелых естественных радионуклидов в почвенно-растительном покрове в условиях техногенного загрязнения. *Экология* (2), 98–101.

## RADIOECOLOGICAL SITUATION IN THE AREA OF MONAZITE PLACER IN SOUTH YAKUTIA

© 2019 P. I. Sobakin\*, Ya. R. Gerasimov, A. A. Perk

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS  
Russia, 41 Lenin Ave., Yakutsk, 677980  
\*e-mail: radioecolog@yandex.ru*

Received: 27.03.2017

Received version received: 26.07.2018

Accepted: 01.08.2018

The results of radioecological investigation of the territory of Vasilyevka monazite placer in South Yakutia are given. The processes of deposit development causing radioactive pollution of the territory are described. They induce high exposure rates of gamma-radiation on ground surface and higher concentration of thorium in soil and plants. Identified areas of natural concentrations of thorium in the alluvial sediments, creating the anomalously high values of dose rate of gamma radiation on the surface and is exceeding 9–23 times of the normal natural radiation background. The extent of wind dispersion of thorium from pollution source was estimated along its vertical distribution in a soil profile of podbours.

**Keywords:** South Yakutia, Aldan tableland, placer, monazite, development, radioecological situation, radiometric surveying, natural radionuclides, soils, plants

**(For citation:** Sobakin P.I., Gerasimov Ya.R., Perk A.A. Radioecological Situation in the Area of Monazite Placer in South Yakutia. *Geokhimiya*. 2019;64(4):440–448. DOI: 10.31857/S0016-7525644440-448)