

ТЯЖЕЛЫЕ ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

П. И. Собакин, доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны Сибирского отделения Российской академии наук (ИБПК СО РАН), radioecolog@yandex.ru, Якутск, Россия

Выполнены радиометрические и гамма-спектрометрические измерения на поверхности отвалов радиоактивных пород и руд, складированных возле геолого-разведочных горных выработок (штольни, шахты) на территории урановых месторождений Эльконского плато и Курунг. На основе полученных данных, отвалы как источники радиоактивного загрязнения природной среды, ранжированы на соответствующие классы производственных радиоактивных отходов. Приведены данные об уровнях содержания и особенностей распределения ^{238}U и ^{226}Ra в почвах в условиях техногенного загрязнения. Показано, что в настоящее время загрязненность почв радионуклидами в отдельных участках горно-таежного ландшафта остаются высокими и превышают уровни санитарно-гигиенических норм для твердых радиоактивных отходов. На основании полученных закономерностей профильного распределения ^{238}U и ^{226}Ra установлено, что вертикальное распределение радионуклидов в почвенном профиле в основном зависит от времени и пути их поступления в почвенный покров и химических свойств элементов и, в какой-то мере, почвообразовательных процессов.

Radiometric and gamma-spectrometric measurements were performed on the surface of the dumps of radioactive rocks and ores stored near the geological exploration workings (tunnels, mines) in the territory of the uranium deposits of the Elkon Plateau and Kurung. On the basis of the data obtained, dumps as sources of radioactive contamination of the environment are ranked on the appropriate classes of industrial radioactive waste. The data on the levels and distribution features of ^{238}U and ^{226}Ra in soils under technogenic pollution are presented. It is shown that at present the contamination of soils with radionuclides in some areas of the mountain-taiga landscape remains high and exceeds the levels of sanitary and hygienic standards for solid radioactive waste. Due to the obtained regularities of the profile distribution of ^{238}U and ^{226}Ra , it was found that the vertical distribution of radionuclides in the soil profile mainly depends on the time and the way they enter the soil cover and the chemical properties of the elements and, to some extent, soil-forming processes.

Ключевые слова: Южная Якутия, Эльконский урановорудный район, почва, загрязнение, ^{238}U , ^{226}Ra , миграция, распределение.

Keywords: South Yakutia, the Elkon uranium ore region, soil, pollution, ^{238}U , ^{226}Ra , migration, distribution.

Введение. Эксплуатация атомно-энергетических объектов, а также промышленное и горнодобывающее производство увеличивают поступление тяжелых естественных радионуклидов (ТЕРН) в окружающую среду. Дополнительные потоки ТЕРН придают особую актуальность работам, касающимся изучения особенностей поведения этой группы химических элементов в компонентах природной среды [1–4]. Техногенные изменения природной среды наряду с комплексом таких экологических факторов, как уровень почвенного увлажнения, видовой состав растений, рельеф местности, играют существенную роль в процессах перераспределения и локализации ТЕРН в пределах определенных территорий [5–7]. Одной из таких территорий является Эльконский урановорудный район в южной части Якутии, где складированы запасы урановых руд, извлеченные на дневную поверхность при проведении геологоразведочных работ. Цель настоящей работы состояла в оценке современных уровней содержания и особенностей распределения ^{238}U и ^{226}Ra в наиболее типичных для этого региона типов почв в условиях техногенного загрязнения.

Объекты и методы исследования. На первоначальном этапе работ на выбранных участках урановых месторождений (Эльконское плато, Курунг) на поверхности отвалов радиоактивных пород и руд, складированных на территории законсервированных горных выработок (шахта, штольни) были проведены радиометрические и гамма-спектрометрические измерения по произвольным точкам с помощью радиометра СРП-68-01 и переносного гамма-спектрометра МКС-АТ6101Д [8]. На техногенных участках почвенные разрезы закладывали на разных расстояниях с учетом направления ветрового и водного рассеяния ТЕРН из отвалов радиоактивных пород как источников загрязнения. Отбор образцов почв из разрезов вели с учетом границ генетических горизонтов. Содержание ^{238}U в почвах определяли рентгеноспектральным, а ^{226}Ra — гамма-спектральными методами.

Результаты исследования. Результаты обследования показали, что в отвалах концентрация ^{40}K варьирует от $0,034 \cdot 10^{-2}$ до $0,076 \cdot 10^{-2} \%$, ^{238}U — от $18,4 \cdot 10^{-4}$ до $1004,2 \cdot 10^{-4} \%$, а ^{232}Th — от $6,1 \cdot 10^{-4}$ до $61,0 \cdot 10^{-4} \%$. При этом на поверхности отвалов мощность экспозиционной дозы гамма-излучения изменяется от 40 до 1106 мкР/ч. Эффективная удельная активность радионуклидов (Аэфф.) в мелкоземле обследованных отвалов изменяется от 357 до 12 806 Бк/кг. При этом в рудных отвалах на месторождениях Эльконское плато и Курунг Аэфф. составляет 12 799 и 12 806 Бк/кг соответственно.

Согласно существующей классификации производственных отходов некоторые отвалы горных выработок месторождений Эльконское плато и Курунг по значениям Аэфф. можно отнести к производственным отходам второй и третьей категории, а остальные — к отходам первой категории. При этом для отходов второй и третьей категории требуется специальный учет, захоронение и контроль, а отходы первой категории можно использовать в строительстве дорог вне населенных пунктов [9]. Концентрация ^{238}U и ^{226}Ra в аллювиальных почвах высоких пойм водотоков изучена по вектору стока от источников загрязнения (отвалы) речных систем: левый приток р. Курунг (месторождение Курунг) — р. Курунг — р. Элькон — р. Алдан. Анализ материала показал, что в аллювиальных почвах концентрация ^{238}U и ^{226}Ra снижается по вектору водного стока. В результате на удалении 43,6 км от источника загрязнения в пойме р. Алдан уровень концентраций этих радионуклидов соответствует фоновым значениям (таблица). На данном участке концентрация урана и радия в 28–56 и 13–22 раз соответственно меньше их концентраций вблизи отвалов радиоактивных пород. Результаты обследования показали, что на удалении до 2 км от радиоактивных отвалов месторождений Эльконское плато и Курунг концентрация ^{238}U в почвах варьирует от $5 \cdot 10^{-4}$ до 4,6 %, а ^{226}Ra — от $8 \cdot 10^{-11}$ до $7,2 \cdot 10^{-8}$ %, что превышает их фоновые значения до четырех порядков величин. По уровню загрязненности ^{238}U и ^{226}Ra изученные почвы можно расположить в следующий убывающий ряд: лугово-болотные оторфованные > аллювиальные > подбуры, причем концентрация урана в лугово-болотных оторфованных почвах выше норм, установленных для твердых радиоактивных отходов [10]. Вертикальное распределение ГЕРН в почвенном профиле зависит от времени и пути их поступления в почвенный покров, химических

свойств радионуклидов и, в какой-то мере, почвообразовательных процессов. В почвенном профиле горно-таежного подбура, куда радионуклиды начали поступать только больше 40 лет назад, они распределяются по аккумулятивному типу без выраженного их иллювирования (рисунок.). Их аккумуляция в верхних слоях почвы обусловлена выдуванием мелкодисперсных фракций с поверхности радиоактивных отвалов, складированных в подножье водораздельного склона в горно-таежном ландшафте. В профиле лугово-болотной оторфованной почвы вертикальное распределение ^{238}U и ^{226}Ra разное. Это, возможно, обусловлено разной формой их нахождения в водном стоке, поступающем из отвалов в почву во время затяжных дождей. В данном месте уран из отвалов мигрирует преимущественно в составе жидкого, а радий — твердого стоков, что связано с химическими свойствами радионуклидов и особенностями состава сульфидных радиоактивных пород, формирующих химический состав водного стока. В горизонтах почвы, обогащенных органическим веществом, содержание ^{238}U выше, чем в минеральных. При этом его самое высокое содержание приурочено к слою погребенного мха. В профиле лугово-болотной оторфованной почвы ^{226}Ra распределяется по аккумулятивному типу. Фильтрация поступающих в почву атмосферных вод сопровождается сепарацией и накоплением мелкодисперсной взвеси, обогащенной ^{226}Ra в верхних горизонтах почвенного профиля. В результате его концентрация резко убывает с глубиной. Вертикальное распределение ^{238}U и ^{226}Ra в аллювиальных почвах сложное. Уран аккумулируется в верхней и погребенной органической части почв, что связано с его сорбцией из воды во время затопления поймы. Во время паводков при затоплении поймы обогащенная ураном вода фильтруется через почвенный профиль, что приводит к повышению содержания урана в

Содержание ^{238}U и ^{226}Ra в аллювиальных почвах (0–70 см) на разных расстояниях от отвалов горных выработок

Водоток (река, ручей)	Расстояния от источника, км	^{238}U , $n \cdot 10^{-4}$ %	^{226}Ra , $n \cdot 10^{-11}$ %	$\frac{^{226}\text{Ra}}{^{238}\text{U}}$
руч. левый приток р. Курунг	0,3	$69,0 \pm 20^*$	$175,7 \pm 23$	0,74
руч. левый приток р. Курунг	0,9	$136,1 \pm 50$	$105,4 \pm 34$	0,22
р. Курунг	2,0	$5,1 \pm 3,0$	$7,2 \pm 2,5$	0,41
р. Курунг	13,0	$7,7 \pm 2,7$	$11,2 \pm 2,1$	0,42
р. Элькон	25,5	$4,6 \pm 2,0$	$11,7 \pm 2,3$	0,75
р. Элькон	34,0	$3,8 \pm 1,2$	$10,8 \pm 4,2$	0,83
р. Алдан	43,6	$2,4 \pm 0,3$	$7,9 \pm 0,4$	0,96

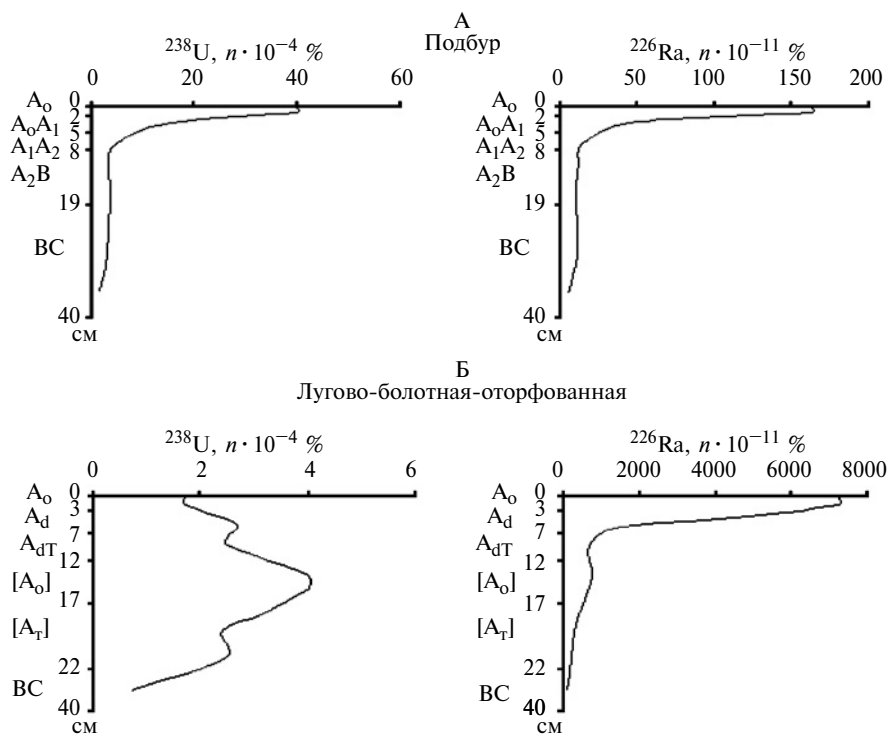


Рис. Распределение ТЕРН в почвенном профиле в зоне ветрового (А) и водного (Б) рассеяния из отвалов радиоактивных пород

слое лесной подстилки и гумусовом горизонте. На удалении 43,6 км от источника загрязнения не обнаруживается явных признаков его аккумуляции в органической части почвы поймы р. Алдан. На разном удалении от отвалов в профиле аллювиальных почв ^{226}Ra распределяется неравномерно и без проявления каких-либо четких общих закономерностей. Лишь на расстоянии 34 и 43,6 км в поймах рек Элькона и Алдана характер вертикального распределения урана и радия в почвенных профилях становится практически одинаковым.

Заключение. На обследованных участках месторождений урана (Эльконское плато, Курунг) в Южной Якутии в зоне воздействия радиоактивных

отвалов содержания ^{238}U и ^{226}Ra в почвах существенно превышают их фоновые значения. В профилях подбуров, формирующихся на водораздельных участках, в зоне ветрового рассеяния ^{238}U и ^{226}Ra из отвалов, эти радионуклиды распределяются по аккумулятивному типу, а в лугово-болотной оторфованной и аллювиальной почве гидроморфных пойменных участков ландшафта — по аккумулятивному и неравномерному типу.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИБПК СО РАН на 2017—2020 гг. по разделу радиационный мониторинг и радиоэкологии мерзлотных ландшафтов Якутии (0376-2018-0001; рег. номер АААА-А17-117020110056-0).

Библиографический список

1. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Radioecological inspection of uranium deposit area with technogenic landscape violation in "Sakha" Republic (Yakutia) // Russian journal of nondestructive testing. 1994. No. 9. P. 74—79. [in Russian]
2. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Mobility of natural radionuclides in the soil and pland cover under conditions of technogenic pollution // Russian Journal of Ecology. 1996. Vol. 27. No. 1. P. 27—29. [in Russian]
3. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Migration natural heavy radionuclides in the soil and pland cover under conditions of technogenic pollution // Russian Journal of Ecology. 1998. Vol. 29. No. 2. P. 81—84. [in Russian]
4. Sobakin P. I., Gerasimov Y. R., Perk A. A. Radioecological conditions at geological-exploration sites and mining of radioactive raw material in Yakutia // Atomic energy. 2015. Vol. 117. No. 4. P. 294—297. [in Russian]
5. Собакин П. И. Особенности миграции тяжелых естественных радионуклидов в горно-таежных ландшафтах Южной Якутии. Автореф. дисс. канд. биол. наук. Екатеринбург, 1998. 18 с.
6. Собакин П. И. Накопление тяжелых естественных радионуклидов мхами Южной Якутии // Сибирский экологический журнал. 2002. № 1. С. 29—34.
7. Sobakin P. I., Chevychelov A. P., Gerasimov Y. R. Migration of natural radionuclides in surface waters in the Elkon uranium mining district, Sothern Yakutia // Geochemistry international. 2015. Vol. 53. No. 11. P. 1002—1011. [in Russian]

8. Методика выполнения измерений эффективной удельной активности природных радионуклидов и поверхностной активности цезия-137 с применением спектрометра MKS-AT6101D. — Санкт-Петербург, 2007. — 13 с.
9. 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.
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Гигиенические нормативы. — Москва: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России, 2009. — 72 с.

HEAVY NATURAL RADIONUCLIDES IN THE SOILS OF TECHNOGENIC LANDSCAPES OF SOUTHERN YAKUTIA

P. I. Sobakin, Ph. D. (Biology), Dr. Habil, Leading Researcher, Institute of Biological Problems of Cryolithozone, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (IBPC SB RAS), radioecolog@yandex.ru, Yakutsk, Russia

References

1. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Radio-ecological inspection of uranium deposit area with technogenic landscape violation in “Sakha” Republic (Yakutia). Russian journal of nondestructive testing. 1994. No. 9. P. 74—79.
2. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Mobility of natural radionuclides in the soil and land cover under conditions of technogenic pollution. Russian Journal of Ecology. 1996. Vol. 27. No. 1. P. 27—29.
3. Sobakin P. I., Molchanova I. V. Migration of natural heavy radionuclides in the soil and land cover under the conditions of technogenic pollution. Russian Journal of Ecology. 1998. Vol. 29. No. 2. P. 81—84.
4. Sobakin P. I., Gerasimov Y. R., Perk A. A. Radio-ecological conditions at geological-exploration sites and mining of radioactive raw material in Yakutia. Atomic energy. 2015. Vol. 117. No. 4. P. 294—297.
5. Sobakin P. I. Osobennosti migracii tyazhelyh estestvennyh radionuklidov v gorno-taizhnyh landshaftah Yuzhnoj Yakutii [Features of migration of heavy natural radionuclides in the mountain-taiga landscapes of Southern Yakutia]. Avtoref. diss. kand. biol. nauk. [Thesis Abstract for Ph. D. in Biology]. Ekaterinburg, 1998. 18 p. [in Russian]
6. Sobakin P. I. Accumulation of heavy natural radionuclides by mosses of South Yakutia. Contemporary Problems of Ecology. 2002. No. 1. P. 29—34.
7. Sobakin P. I., Chevychelov A. P., Gerasimov Y. R. Migration of natural radionuclides in surface waters in the Elkon uranium mining district, Sothern Yakutia. Geochemistry international. 2015. Vol. 53. No. 11. P. 1002—1011.
8. Metodika vypolneniya izmerenij ehffektivnoj udel'noj aktivnosti prirodnyh radionuklidov i poverhnostnoj aktivnosti ceziya-137 s primeneniem spektrometra MKS-AT6101D [The method of measurements of the effective specific activity of natural radionuclides and surface activity of cesium-137 with the use of the spectrometer MKS-AT6101D]. St. Petersburg, 2007. 13 p. [in Russian]
9. Gigenicheskie trebovaniya po ogranicheniyu oblucheniya naseleniya za schet prirodnyh istochnikov ioniziruyushchego izlucheniya. Sanitarno-ehpidemiologicheskie pravil [Hygienic requirements to limit public exposure to natural sources of ionizing radiation. Sanitary and epidemiological rules of the joint venture]. SP.2.6.1.1292—03. Moscow, Ministry of Health of Russia, 2003. 36 p. [in Russian]
10. Normy radiacionnoj bezopasnosti (NRB-99/2009): Gigenicheskie normativy [Radiation safety standards (NRB-99/2009): Hygienic standards]. Center of sanitary-epidemiological regulation, hygienic certification and expertise of the Ministry of health of Russia. Moscow, 2009. 72 p. [in Russian]