

Радиоэкологическая обстановка в районе проведения подземного ядерного взрыва «Горизонт-4» в Республике Саха (Якутия)

© П. И. Собакин^{*a}, В. Е. Ушницкий^{**b}, А. А. Перк^a

^a Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН,
677980, Якутск, пр. Ленина, д. 41; *e-mail: radioecolog@yandex.ru

^b Министерство охраны природы Республики Саха (Якутия),
677000, Якутск, ул. Дзержинского, д. 3/1; **e-mail: ushnitski@mail.ru

Получена 06.06.2018, после доработки 22.01.2019, принята к публикации 29.01.2019

УДК 574:539.163

Анализируется современная радиоэкологическая обстановка на месте проведения подземного ядерного взрыва «Горизонт-4» и прилегающих к нему территорий. Составлены карты мощности экспозиционной дозы и концентраций естественных радионуклидов (^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th) на территории, охватывающей эпицентр взрыва. На местности определены современные уровни глобальных выпадений ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ в почвенно-растительном покрове и продуктах питания. Оценена текущая годовая внутренняя доза жителей с. Кюсюр за счет потребления продуктов питания, содержащих ^{137}Cs и ^{90}Sr . Показано, что текущая внутренняя годовая доза облучения жителей села от инкорпорированного ^{137}Cs и ^{90}Sr на два порядка величин меньше годового предела дозы для населения. Проведенный подземный ядерный взрыв в середине 1980-х гг. не оказал существенного влияния на радиоэкологическую обстановку сопредельных территорий, в том числе с. Кюсюр.

Ключевые слова: подземный ядерный взрыв, Горизонт-4, γ -съемка, γ -спектрометрическая съемка, радионуклиды, грунт, почва, растение, продукты питания, доза.

DOI: 10.1134/S0033831119030092

На территории Республики Саха (Якутия) в 1974–1987 гг. осуществлено 12 подземных ядерных взрывов (ПЯВ) для интенсификации притоков нефти и газа, глубинного сейсмического зондирования земной коры и сооружения плотины хвостохранилища горно-обогатительного комбината [1]. Один из таких ПЯВ под кодовым названием «Горизонт-4» был проведен 12 августа 1975 г. в 17 км к северо-западу от с. Кюсюр на надпойменной террасе р. Эекит (левый приток р. Лена), расположенной в арктической зоне Якутии [1]. Несмотря на то что после окончания проведения ПЯВ на территории Якутии прошло много времени, районы их выполнения остаются слабо изученными. Только два аварийных ПЯВ «Кристалл» (1974 г.) и «Кратон-3» (1978 г.) исследованы более детально и комплексно, с привлечением специалистов разного профиля (геологи, геофизики, биологи, медики и др.) [2–4]. В связи с отсутствием в настоящее время подобных комплексных исследований в районе проведения ПЯВ «Горизонт-4» местные жители к данному объекту относятся крайне негативно и подозрительно. Они считают, что в районе проведения ядерного взрыва имеется поверхностное загрязнение местности радиоактивными продуктами деления и плутонием, входящим в состав заряда, и поэтому среди населения с. Кюсюр медиками фиксируется увеличение числа раковых заболеваний в период с 1980 по 2006 г. [5].

Целью настоящего исследования была оценка современной радиоэкологической обстановки на объекте ПЯВ «Горизонт-4» и сопредельных к нему территорий экспрессными полевыми методами γ -съемки и γ -спектрометрической съемки и определение уровней содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr и Pu в почвенно-растительном покрове и местных продуктах питания.

Объект изучения

Исследуемая территория расположена в тундровой зоне Республики Саха (Якутия) вблизи моря Лаптевых (в 122 км). Территория характеризуется резко континентальным холодным засушливым климатом и непрерывным распространением многолетнемерзлых пород. Скважина Г-4, где проведен ПЯВ, находится на надпойменной террасе р. Эекит в 180 м от уреза воды. На обследуемой территории надпойменная терраса представляет слабопологую поверхность, переходящую на водораздельный склон реки, занятый лишайниково-моховым редкостойным лиственничным лесом. Основу строения почвенного покрова составляют подбуры, формирующиеся на надпойменной террасе и склоне водораздела на суглинистых отложениях. В пойме реки под кустарниково-травянистой растительностью развиваются аллювиальные почвы. Ядерный взрыв с тротиловым экви-

валентом 7.6 кт был осуществлен на глубине 496 м [1]. Забивка скважины цементным раствором была произведена в интервале глубин 94–450 м [6]. Энергия ПЯВ составила $36.48 \cdot 10^{19}$ эрг. Магнитуда землетрясения – 5.2 [1]. Параметры зоны ПЯВ, полученные расчетным путем, составили: радиус полости ПЯВ 21.4 м, радиус зоны трещиноватости от 150 до 193 м, масса осколков деления ядерного заряда 281.2 г, количество трития, образовавшегося при ПЯВ, от 5.32 до 15.2 г [6].

В ходе радиоэкологических работ, проведенных в августе 2013 г., выполнены площадная γ -съемка и γ -спектрометрическая съемка на территории, охватывающей промплощадку скважины Г-4, с помощью радиометра СРП-68-01 (НПП «Промприбор», Россия) и переносного γ -спектрометра МКС-АТ6101Д (НПЦ «Радэк», Россия). Согласно методике работ данными приборами, мощность экспозиционной дозы, плотность загрязнения ^{137}Cs и концентрацию естественных радионуклидов (^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th) измеряли на уровне поверхности земли по прямоугольной сети наблюдений на 102 точках [7, 8]. При этом расстояние между профилями составляло 50 м, а между точками измерений в профиле – 25 м. Разбивку сети наблюдений осуществляли с помощью спутникового навигационного устройства Etrex H (Garmin Ltd., США). По произвольной сети наблюдений γ -измерения и γ -спектрометрические измерения проведены по берегу р. Эекит и р. Лена возле с. Кюсюр, включая и его территорию. По результатам площадной съемки на обследованной территории составлены карты γ -поля по мощности экспозиционной дозы, концентраций ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th с помощью компьютерной программы Surfer 7. После радиометрической съемки местности на высокой пойме, надпойменной террасе и водораздельном склоне р. Эекит были заложены почвенные разрезы, из которых вели отбор образцов послойно через 3–8, 12–20 см до глубины 80 см с учетом площади. Для определения площади слоев почв использовали кольцо диаметром 140 и высотой 50 мм. Вблизи почвенных разрезов отбирали образцы различных видов растений. Подобные работы также осуществляли возле с. Кюсюр. Пробы воды и донных отложений р. Эекит отбирали на разных расстояниях от места проведения ПЯВ «Горизонт-4». В окрестностях с. Кюсюр и у скважины Г-4 проводили сбор ягод и грибов, вылов рыбы (р. Лена, Эекит) и отстрел диких северных оленей. Образцы почв и растений высушивали до воздушно-сухого состояния, после чего органогенную часть почв (лесная подстилка, гумусовый горизонт) и растительные пробы озоляли в муфельной печи при температуре 450°C. Местные продукты питания (оленина, рыба, грибы и ягоды) озоляли без сушки после обугливания. В приготовлен-

ных образцах содержание ^{137}Cs определяли с использованием γ -спектрометра ПрогрессГамма (НПП «Доза», Россия) со сцинтилляционным детектором NaI(Tl) при ошибке счета не более 30% [9]. Содержание ^3H в водах определяли на договорной основе в лаборатории общей радиоэкологии Института экологии растений и животных УрО РАН (Екатеринбург) [10], а Ru и ^{90}Sr в почвах и растениях – в лаборатории радиоэкологии и мониторинга окружающей среды ГЕОХИ РАН (Москва) [11, 12]. Отбор образцов (почва, растения, донные отложения и вода) проводили в августе 2013 г., а γ -спектрометрический и радиохимические анализы образцов на радионуклиды – в октябре–декабре того же года. Активность радионуклида пересчитывали с Бк/кг на Бк/м² исходя из измеренной массы слоя (кг) на площади кольца (0.176 м²).

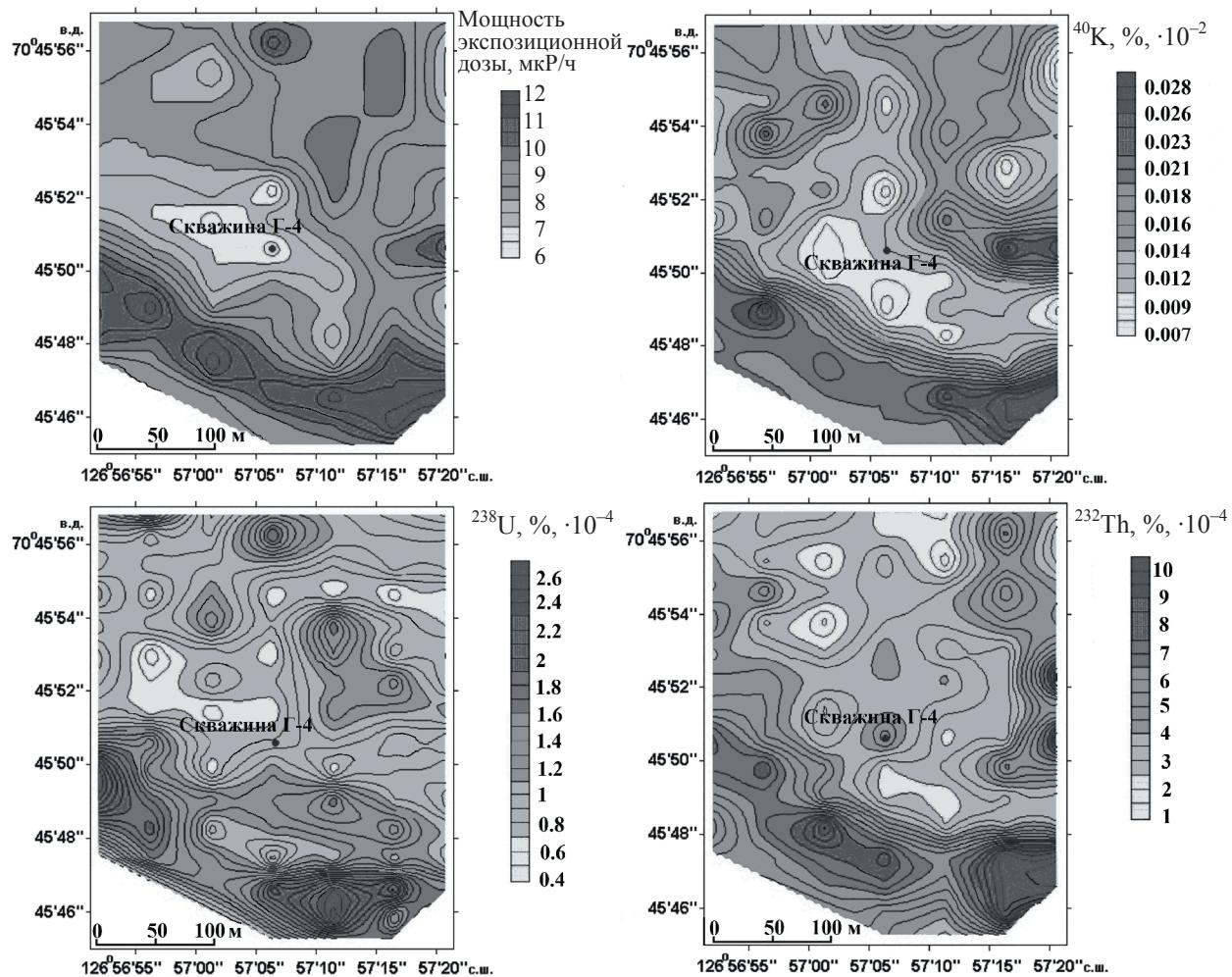
Результаты и обсуждение

На обследованной территории мощность экспозиционной дозы γ -излучения изменяется от 6 до 16 мкР/ч (табл. 1). Наиболее низкие и высокие ее значения зафиксированы на надпойменной террасе и берегу р. Эекит соответственно. В целом измеренные значения мощности дозы γ -излучения на изученных участках практически укладываются в пределы ее нормальных природных значений, характерных для территории России (5–20 мкР/ч) [13]. При этом средняя величина мощности дозы на участке, занимающим пойму и надпойменную террасу, к которой приурочена промплощадка буровой скважины ПЯВ «Горизонт-4» и склон водораздела р. Эекит, не отличается от таковой на территории с. Кюсюр (табл. 1). Мощность экспозиционной дозы γ -излучения на обследованной территории в целом зависит от концентрации естественных радионуклидов (ЕРН) в грунтах. На участках содержание ^{40}K в грунтах изменяется от 0.005 до $0.029 \cdot 10^{-2}\%$, ^{238}U – от 0.5 до $3.9 \cdot 10^{-4}\%$, ^{232}Th – от 1.1 до $18.4 \cdot 10^{-4}\%$ (табл. 1). Наибольшее содержание ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th обнаружено на берегу р. Эекит, сложенного аллювиальными песчано-илистыми отложениями, где зафиксировано самое высокое значение мощности экспозиционной дозы γ -излучения. Обнаруженные концентрации ЕРН в грунтах соответствуют региональному естественному радиохимическому фону, характерному для данной территории [14]. На основе площадной γ -съемки и γ -спектрометрической съемки, проведенной на объекте «Горизонт-4», составлены карты изолиний мощности экспозиционной дозы и концентраций ЕРН (см. рисунок). Из полученных данных видно, что вариации мощности дозы на поверхности земли в целом совпадают с изменениями концентраций ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th . На обследованной

Таблица 1. Мощность экспозиционной дозы и содержание естественных радионуклидов (%) в грунтах^a

Место измерения (состав грунта)	<i>n</i>	Мощность дозы, мкР/ч	^{40}K ($\cdot 10^{-2}$)	^{238}U ($\cdot 10^{-4}$)	^{232}Th ($\cdot 10^{-4}$)
Берег р. Эекит (песок, ил)	8	12 ± 1.8	0.023 ± 0.002	2.3 ± 0.9	9.5 ± 4.1
		11–16	0.021–0.026	1.0–3.9	4.0–18.4
Пойма, надпойменная терраса (промплощадка) и склон водораздела р. Эекит (суглинистая почва)	102	9 ± 1.4	0.016 ± 0.005	1.2 ± 0.9	4.6 ± 2.4
		6–12	0.007–0.029	0.5–2.8	1.1–11.5
Берег р. Лена (песок, галька)	5	9 ± 1.2	0.018 ± 0.003	1.3 ± 0.4	6.7 ± 1.3
		8–11	0.015–0.022	0.8–1.7	5.3–8.6
Надпойменная терраса и склон коренного берега р. Лена (с. Кюсюр) (песок, гравий, суглинок)	17	10 ± 0.9	0.016 ± 0.004	1.3 ± 0.3	6.6 ± 2.2
		9–12	0.009–0.022	0.7–1.7	1.8–11.9
Склон водораздела р. Лена (суглинистая почва)	3	9 ± 1.5	0.012 ± 0.006	1.0 ± 0.7	6.4 ± 2.9
		7–10	0.005–0.016	0.5–1.7	3.1–8.7

^a Числитель – среднее и ошибка, знаменатель – минимальное и максимальное значения.



Изолинии мощности экспозиционной дозы и относительного содержания радионуклидов в районе скважины ПЯВ «Горизонт-4».

площади повышенный уровень радиационного фона прослеживается полосой вдоль русла р. Эекит на участке, охватывающем часть поймы и начало надпойменной террасы, где значения изолиний концентраций ЕРН наибольшие. Это, возможно, связано с тем, что данный участок поймы и надпойменной террасы формировался песчано-суглинистыми аллювиальными отложениями, привнесенными со стоком реки в период половодья

с ее притоков, где водосборные площади сложены гранитизированными породами с повышенной концентрацией ЕРН [15]. Поэтому не случайно по берегу р. Эекит на разных расстояниях от места проведения взрыва по вектору стока (до 3 км) переносным γ -спектрометром в песчано-илистых аллювиальных отложениях зафиксированы относительно высокие концентрации ЕРН. Вместе с тем, нужно отметить, что на обследованной территории все

Таблица 2. Распределение радионуклидов в почвах геохимически-сопряженных участков лесотундрового ландшафта^a

Место отбора проб	Почва	Горизонт; глубина, см	¹³⁷ Cs			⁹⁰ Sr			^{239,240} Pu		
			Бк/кг	Бк/м ²	%	Бк/кг	Бк/м ²	%	Бк/кг	Бк/м ²	%
Водораздельный склон	Подбур	Ao, 0–3	21.8	30	5.0	3.8	10	1.7	0.18	1	1.8
		AoA, 3–6	110.8	240	40.0	16.3	40	7.0	3.36	7	12.7
		AB, 6–9	18.6	150	25.0	10.7	90	15.8	1.40	11	20.0
		B, 9–17	1.7	120	20.0	3.4	250	43.9	0.22	16	29.1
		BC, 17–25	1.0	60	10.0	3.0	180	31.6	0.33	20	36.4
		Сумма		600	100		570	100		55	100
Надпойменная терраса, промплощадка	Подбур	Ao, 0–5	H.o.	H.o	H.o	H.o	H.o	H.o	H.o	H.o	H.o
		A, 5–8	9.3	120	15.2	4.8	60	9.8	1.20	16	26.2
		AB, 8–13	6.8	540	68.4	3.0	240	39.4	0.23	18	29.5
		BC, 13–25	1.0	130	16.4	2.4	310	50.8	0.21	27	44.3
		Сумма		790	100		610	100		61	100
		Ad, 0–5	1.1	70	3.4	3.2	200	9.3	0.12	10	2.1
Высокая пойма	Аллювиальная	A, 5–10	2.0	130	6.3	3.7	240	11.1	0.39	30	6.4
		AB, 10–15	1.0	60	2.9	2.3	140	6.5	1.42	90	19.2
		B, 15–20	1.5	50	2.4	1.6	50	2.3	1.80	60	12.8
		B, 20–25	1.0	70	3.4	1.6	110	5.1	0.64	50	10.6
		BC, 25–40	2.6	400	19.4	1.6	240	11.1	0.24	40	8.5
		BC, 40–60	2.2	440	21.4	1.5	300	13.9	0.39	70	14.9
		C, 60–80	4.2	840	40.8	4.4	880	40.7	0.59	120	25.5
		Сумма		2060	100		2160	100		470	100

^a H.o. – не обнаружено.

зафиксированные величины мощности экспозиционной дозы и концентрации ЕРН в грунтах укладываются в пределы природных вариаций. Прямые измерения плотности загрязнения ¹³⁷Cs в почвах в полевых условиях с помощью переносного γ -спектрометра МКС-АТ6101Д не дали положительных результатов: во всех измеренных точках плотность загрязнения ¹³⁷Cs не превышала нижнего предела обнаружения прибора, равного 1 кБк/м². В районе проведения ПЯВ «Горизонт-4» уровни глобальных выпадений ¹³⁷Cs в почвенном покрове составляли 600–2060, ⁹⁰Sr – 570–2160, ^{239,240}Pu – 55–470 Бк/м² (табл. 2). При этом в аллювиальной почве высокой поймы количество ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu, рассчитанное на квадратный метр, больше, чем в почвах водораздела. Такое явление характерно для пойменных почв Якутии [16]. Как известно, верхняя пойма периодически затапливается высокими паводками реки, при этом происходит осаждение песчано-илистого твердого материала из водного стока, содержащего радионуклиды. Поэтому не случайно в аллювиальной почве верхней поймы р. Эекит радионуклиды обнаруживаются в более глубоких слоях (до 80 см) и по глубине распределяются неравномерно. В почвах водораздела исследованные искусственные радионуклиды обнаруживаются до глубины 25 см. В подбуре, приуроченном к водораздельному склону, наибольшее количество ¹³⁷Cs концентрировано в интервале глубины 3–6 см (40% от общего его запаса в профиле), ⁹⁰Sr – 9–17 см (43.9%), а ^{239,240}Pu – 17–25 см (36.4%). Это, возможно, связано, с одной стороны, с разной скоростью вертикальной миграции

радионуклидов в почвенном профиле и возрастом загрязнения, разницей мощностей и объемной массы отдельных горизонтов почв, а с другой – присутствием в почве, в какой-то мере, чернобыльского ¹³⁷Cs. Факты атмосферных чернобыльских выпадений ¹³⁷Cs в районе с. Кюсюр и на месте проведения ПЯВ «Горизонт-4» установлены в 1992 г. специалистами Якутского государственного университета (Якутск) и РНЦ «Курчатовский институт» (Москва) [17]. На надпойменной террасе при организации буровых работ на промплощадке верхний слой почвы и растительный покров снесен бульдозером. Это повлияло в дальнейшем на вертикальную миграцию радионуклидов по глубине почвы. Наибольшее количество ¹³⁷Cs в почвенном профиле подбура обнаружено в интервале глубины 8–13 см (68.4% от общего его количества в профиле), а ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu – 13–25 см (50.8 и 44.3% соответственно). Отметим, что в тундровой и таежной зонах равнинной части Якутии глобальные уровни загрязнения почв ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu на водораздельных пространствах составляют обычно 300–990, 550–720 и 30–60 Бк/м² соответственно [18]. Величины глобальных выпадений ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu в почвах надпойменной террасы и на водораздельном склоне р. Эекит в целом не отличаются от их фоновых значений, характерных для территории Якутии. В окрестностях с. Кюсюр плотность загрязнения ¹³⁷Cs в почвах водораздела и высокой поймы р. Лена составляет 590 и 1400 Бк/м² соответственно, что сравнимо с таковой в районе объекта «Горизонт-4». В настоящее время нет данных об уровнях загрязнения ⁹⁰Sr и ^{239,240}Pu поймен-

Таблица 3. Содержание радионуклидов в растениях

Место отбора проб	Вид	^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239,240}\text{Pu}$
		Бк/кг воздушно сухой массы		
Окружение с. Кюсюра	Ива – <i>Salix</i> sp. (листья)	1.0	1.5	0.03
	Осока – <i>Carex</i> sp. (надземная часть)	1.2	2.0	0.25
	Лишайник – <i>Cladonia stellaris</i>	23.0	3.6	0.05
	Мох – <i>Aulacomnium turgidum</i>	3.0	2.6	0.22
Окрестности скважины ПЯВ «Горизонт-4»	Береза тощая – <i>Betula exilis</i> (листья)	2.0	1.8	0.05
	Осока – <i>Carex</i> sp. (надземная часть)	2.7	1.0	0.33
	Лишайник – <i>Cetraria cucullata</i>	7.7	3.8	0.07

Таблица 4. Содержание трития в поверхностных и подземных водах

Номер пробы	Водоисточник	Место отбора проб	^3H , Бк/л
1	р. Эекит	От скважины выше 0.28 км	3 ± 0.2
2	Скважина Г-4	Надпойменная терраса, скважина Г-4	4 ± 0.3
3	р. Эекит	От скважины ниже 0.15 км	3 ± 0.4
4	р. Эекит	От скважины ниже 2.78 км	3 ± 0.2
5	р. Лена	Ниже с. Кюсюра	5 ± 0.3

ных почв на территории Якутии. Имеющиеся результаты собственных исследований по ^{137}Cs показывают, что в почвах верхней поймы рек Лена, Амга, Алдан и Марха плотность загрязнения данным радионуклидом обычно составляет 800–1800 Бк/м². На изученных участках верхней поймы р. Эекит и Лена плотность загрязнения ^{137}Cs в почвах вполне сопоставима с имеющимися фоновыми уровнями. Результаты исследований показали, что в основных кормовых растениях (ива, осока, лишайники и мох) северного оленя, собранных в окрестностях с. Кюсюра и в районе проведения ПЯВ «Горизонт-4», содержание ^{137}Cs изменяется от 1.0 до 23.0 Бк/кг, ^{90}Sr – от 1.0 до 3.8 Бк/кг, а $^{239,240}\text{Pu}$ – от 0.03 до 0.33 Бк/кг воздушно-сухой массы (табл. 3). Обнаруженные уровни концентраций радионуклидов соответствуют интервалу значений в кormах животных, установленных Департаментом ветеринарной службы Республики Саха (Якутия) [19]. Среди исследованных кормовых растений наибольшие содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr обнаружены в лишайниках, а $^{239,240}\text{Pu}$ – в надземной массе осоки. В пробах донных отложений (песок, ил) р. Эекит, отобранных на разных расстояниях от устья скважины и на р. Лена возле с. Кюсюра, выявлены ^{137}Cs и ^{90}Sr в обычных фоновых концентрациях 1.0–3.6 Бк/кг. Концентрация трития в воде р. Эекит и Лена варьирует незначительно и составляет 3–5 Бк/л (табл. 4). В пробах воды из ствола скважины содержание трития не превышает 4 Бк/л. В целом в исследованных скважинной и речных водах обнаруженные концентрации трития близки к фоновым уровням трития, установленным для р. Лена, Индигирка и Колыма за последние годы Якутским управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в гидропостах, равным 1.8–2.5 Бк/л [20].

В 2005 г. сотрудниками Института динамики геосфер РАН и Министерства охраны окружающей среды Республики Саха (Якутия) проведена γ -съемка в районе проведения ПЯВ «Горизонт-4» на площади 805000 м² [6]. В результате на обследованной территории установлен преобладающий спокойный характер γ - поля, характеризующийся мощностью экспозиционной дозы 7–8 мкР/ч, на фоне которого выделяются две области аномальных значений: юго-западная и северо-восточная [6]. В юго-западной области отмечены две линейные аномальные зоны: прибрежная и околоскважинная. Первая из них характеризуется относительно повышенным, а вторая – пониженным значениями γ - поля. Северо-восточная область имеет относительно пониженные значения γ - поля с изолиниями, в основном, северо-восточного простириания. В 2013 г. в окрестностях скважины Г-4 проведена γ -съемка на площади около 120000 м², частично охватившая юго-западную аномальную область, установленную в 2005 г. При этом карта γ - поля, построенная в 2013 г. (см. рисунок), по характеру и интенсивности в целом близка к таковой в 2005 г. [6]. Нужно отметить, что особенность радиоэкологической работы в 2013 г. заключалось в том, что площадная γ -съемка местности проведена параллельно с γ -спектрометрической. При сопоставлении построенных карт выяснилось, что интенсивность γ - поля на поверхности земли целиком обусловлена γ -излучением ^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th , присутствующим в почвах и почвогрунтах. В связи с этим, высказанная авторами статьи [6] мнение, что «... в целом, γ -поле в изучаемом районе, помимо техногенных радионуклидов, обусловлено относительно высокой удельной активностью ^{40}K », не соответствует действительности. В 26 пробах (почва, грунт, растения), изученных в 2005 г., в основном обнаружены только ^{137}Cs и

Таблица 5. Ожидаемая эффективная (эквивалентная) доза жителей с. Кюсюра при внутреннем облучении ^{137}Cs и ^{90}Sr

Продукт	Содержание в продукте, Бк/кг		Поступление продукта в организм, кг/сут	KKO ^a	Доза, мкЗв/год	% от суммы
	^{137}Cs	^{90}Sr				
Оленина	10.8	0.4	0.134	1	7.4	91.1
Рыба	0.8	0.3	0.032	1	0.22	2.7
Картофель	0.5	0.4	0.015	1	0.10	1.2
Ягоды	0.6	0.4	0.011	1	0.07	0.9
Грибы	5.0	1.0	0.010	0.5	0.33	4.1
			Сумма		8.12	100

^a ККО – коэффициент кулинарной обработки.

^{241}Am , а остальные исследованные техногенные радионуклиды (^{134}Cs , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{125}Sb , ^{60}Co) присутствуют только в следовых или инструментально невыявляемых количествах. Полученные в 2005 и 2013 гг. значения содержания ^{137}Cs в почвах и растениях вокруг скважины Г-4 в целом сходны и являются крайне низкими по сравнению с санитарно-гигиеническими нормами [21]. По результатам радиоэкологических работ, проведенных в 2005 г., ПЯВ «Горизонт-4» не может считаться существенным источником радиоактивного загрязнения местности, так как содержание ^{137}Cs и ^{241}Am в почвах и растениях, а также концентрация ^3H в скважинной воде находятся на уровне фоновых значений, обусловленных их глобальными выпадениями на обследуемой территории. Это обстоятельство подтверждается и результатами радиоэкологических работ, проведенных в 2013 г. Тогда в почвах, растениях и донных отложениях вокруг скважины были выявлены ^{137}Cs , ^{90}Sr и Ри в количествах, не превышающих их региональные уровни.

В силу специфики природно-климатических условий Булунского района и сложности его транспортной схемы из-за значительной удаленности от центральных районов Якутии, основным занятием коренных жителей с. Кюсюра в настоящее время остается только оленеводство, рыболовство и охотничий промысел. Поэтому в рационе питания жителей села всегда присутствуют мясные и рыбные продукты, а также, частично, грибные и ягодные заготовки, постоянно содержащие важнейшие биогенные искусственные радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr . При расчете ожидаемой внутренней дозы облучения людей от данных радионуклидов мы исходили из суточного потребления соответствующих продуктов питания (мясо, рыба, грибы и ягоды) жителями с. Кюсюра и прожиточного минимума на душу населения, принятого в Республике Саха (Якутия) [22]. На территории Булунского района из-за суровости климата не выращивают картофель, поэтому, рассчитывая суточные нормы потребления человека, учитывали объем его поставок из других регионов Якутии.

При расчете годовой ожидаемой эффективной (эквивалентной) дозы внутреннего облучения чело-

века использовали формулу [4]:

$$E_{\text{внутр}} = 365 \sum_i (dk_i I_i), \text{ мЗв/год}, \quad (1)$$

где dk_i – дозовый коэффициент для пищевого поступления i -го нуклида в организм человека, равный $1.3 \cdot 10^{-5}$ и $2.8 \cdot 10^{-5}$ мЗв/Бк для ^{137}Cs и ^{90}Sr соответственно; I_i – суточное потребление i -го радионуклида с продуктами, Бк/сут; 365 – число дней в году, сут/год.

Суточное поступление i -го радионуклида в организм складывается из поступления с различными продуктами – компонентами рациона питания:

$$I_i = \sum_p C_{ip} V_p K_{ip}, \text{ Бк/сут}, \quad (2)$$

где C_i – удельная активность i -го радионуклида в p -м пищевом продукте, Бк/кг; V_p – суточное потребление p -го пищевого продукта, кг/сут; K_{ip} – коэффициент кулинарного снижения содержания i -го радионуклида в p -м пищевом продукте за счет его обработки в процессе приготовления пищи, отн. ед.

В изученных продуктах питания – оленина, рыба (омуль), картофель, ягоды (морошка, брусника) и грибы (маслята) – содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr составляло 0.3–10.8 Бк/кг сырой массы (табл. 5), что значительно ниже, чем установлено санитарно-гигиеническими нормами для соответствующих продуктов питания (40–320 Бк/кг) [23]. Расчеты показали, что ожидаемая эффективная (эквивалентная) доза при внутреннем облучении жителей села за счет потребления продуктов питания, содержащих ^{137}Cs и ^{90}Sr , может достигать 8.12 мкЗв/год. Основную ожидаемую внутреннюю дозу облучения может создавать оленина – 91.1% от общей дозы (табл. 5). Вклад остальных продуктов питания (рыба, картофель, ягоды и грибы), вероятно, составит 8.9% от суммарной внутренней дозы облучения. При существующей суточной норме потребления жителями местных продуктов питания и имеющимся содержании в них радионуклидов 89.6% внутренней дозы облучения людей в год, возможно, формирует ^{137}Cs , а 10.4% – ^{90}Sr .

Заключение

В настоящее время радиоэкологическая обстановка на территории объекта ПЯВ «Горизонт-4» не отличается от таковой на фоновых участках. Величина мощности экспозиционной дозы γ -излучения на буровой площадке и сопредельных с ней территориях целиком определяется присутствием в почвогрунтах естественных радионуклидов (^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th). В районах расположения скважины Г-4 и окрестностях с. Кюсюр загрязнение почвенно-растительного покрова ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$ обусловлено в основном их глобальными атмосферными выпадениями после испытаний ядерного оружия. Ожидаемая внутренняя эквивалентная годовая доза жителей с. Кюсюр от инкорпорированных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr за счет потребления местных продуктов питания (оленина, рыба, картофель, ягоды и грибы) может составлять 8.12 мкЗв/год. Полученное значение ожидаемой внутренней дозы облучения жителей села на 2 порядка меньше годового предела дозы для населения России (1 мЗв/год) [24]. В целом обследованную территорию, включающую место проведения ПЯВ «Горизонт-4» и район расположения с. Кюсюр, по величине мощности эквивалентной дозы, концентрации естественных (^{40}K , ^{238}U и ^{232}Th) и искусственных (^3H , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239,240}\text{Pu}$) радионуклидов в воде, грунте, почве, растениях и продуктах питания по существующим нормам радиационной безопасности можно отнести к радиоэкологически благополучной территории [21, 23, 24]. Таким образом, проведенный 12 августа 1975 г. ПЯВ «Горизонт-4» на надпойменной террасе р. Эекит для глубинного сейсмического зондирования не оказал сколько-нибудь значимого влияния на радиационную обстановку с. Кюсюр и прилегающих территорий. Обнаруженное в последние годы увеличение числа раковых заболеваний среди коренных жителей с. Кюсюр [5], возможно, связано с другими факторами (алкоголизм, плохое качество привозных продуктов и питьевой воды и др.).

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

Список литературы

- [1] Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / Кол. авторов под рук. В. А. Логачева. М.: ИздАТ, 2001. 519 с.
- [2] Цыганов А. С., Андреев Б. Г., Черепанов В. И. и др. О результатах изучения влияния подземных ядерных взрывов на радиационную обстановку в Мирнинском районе Якутской Саха ССР: Отчет. Якутск, 1990. 73 с.
- [3] Собакин П. И., Чевычелов А. П., Молчанова И. В. // Дефектоскопия. 2004. N 9. С. 85–91.
- [4] Рамзаев В. П., Травникова И. Г., Басалаева Л. Н. и др. // Радиац. гигиена. 2008. Т. 1, N 2. С. 14–19.
- [5] Иванова В., Никулина Я. В. // Якутск вечерний. 2012. N 6 (904). С. 80–81.
- [6] Голубов Б. Н., Ушинецкий В. Е. // Вестн. НЯЦ РК. 2008. Вып. 1 (33). С. 33–43.
- [7] Инструкция по работе со сцинтиляционными радиометрами при геологических съемках и поисках / Отв. ред. А. Г. Ветров. Л.: Рудгеофизика, 1986. 44 с.
- [8] Методика выполнения измерений эффективной удельной активности природных радионуклидов и поверхностной активности цезия-137 с применением спектрометра МКС-АТ6101Д. СПб., 2007. 13 с.
- [9] Антропов С. Ю., Ермилов С.А. и др. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтиляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». М.: Центр метрологии, 2003. 16 с.
- [10] Павлоцкая Ф. И. // ЖАХ. 1997. Т. 52, N 2. С. 126–143.
- [11] Павлоцкая Ф. И., Мясоедов Б. Ф. // Радиохимия. 1996. Т. 38, N 3. С. 193–209.
- [12] Чиркова В. Г. // Тр. Инст. эксперим. метеорологии. 1974. Вып. 3 (42). С. 105.
- [13] Маргулис У. Я., Брегадзе Ю. И. Радиационная безопасность. Принципы и средства ее обеспечения. М.: УРСС, 2000. 120 с.
- [14] Никитин И. А. Геохимия микроэлементов в осадочных породах чехла сибирской платформы: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, 1990. 15 с.
- [15] Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). М.: Интерпериодика, 2001. 571 с.
- [16] Собакин П. И. // Радиац. биология. Радиоэкология. 2010. Т. 50, N 5. С. 590–598.
- [17] Алексеев А. А., Степанов В. Е., Ушинецкий В. Е. и др. / Сб. докл. I Респ. научно-практической конф. Якутск, 1993. С. 199–214.
- [18] Собакин П. И., Герасимов Я. Р., Чевычелов А. П. и др. // Радиац. биология. Радиоэкология. 2014. Т. 54, N 6. С. 641–649.
- [19] Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2016 г. / Науч. ред. С. М. Афанасьев, сост. Л. С. Волкова, А. И. Олесова, И. И. Кычкина. Якутск: Правительство Респ. Саха (Якутия), Министерство охраны природы Респ. Саха (Якутия), 2017. 524 с.
- [20] Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2017 г. / Науч. ред. С. М. Афанасьев, сост. Л. С. Волкова, А. И. Олесова, И. И. Кычкина. Якутск: Правительство Респ. Саха (Якутия), Министерство охраны природы Респ. Саха (Якутия), 2018. 571 с.
- [21] НРБ-99/2009: Нормы радиационной безопасности. Гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздрава России. 2009. 72 с.
- [22] Дарбасов В. Р., Никифоров А. Г. Продовольственное обеспечение Якутии (теория, опыт, проблемы). Новосибирск: Наука, 2007. 212 с.
- [23] СанПиН 2.3.2.1078-01: Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: ИнтерСЭН, 2002. 168 с.
- [24] ОСПОРБ 99/2000: Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 83 с.