

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 550.42

РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОСТРОВА ТАТЫШЕВ р. ЕНИСЕЙ (г. КРАСНОЯРСК)

© 2018 г. А. Р. Митев^{1,*}, Р. А. Шарафутдинов¹, В. Л. Гавриков¹, В. А. Четчин²

¹ФГАОУ ВО “Сибирский Федеральный Университет”, пр. Свободный, 79, г. Красноярск, 660041 Россия

²“ШАНЭКО Сибирь” филиала АО “ГК ШАНЭКО” в г. Красноярске,

ул. Высотная, д. 2, стр. 8, г. Красноярск, 660062 Россия

*E-mail: a.r.mitev@gmail.com

Поступила в редакцию 15.02.2018 г.

После исправления 19.04.2018 г.

В работе представлены результаты трехлетнего изучения радиационно-экологических свойств территории о. Татышев, расположенного в 70 км выше по течению от ФГУП “Горно-химический комбинат” (ГХК). По результатам измерения мощность амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения, удельная активность естественных и техногенных радионуклидов в почвах и грунтах, их эффективной активности, можно охарактеризовать радиационно-экологическую обстановку в пределах о. Татышев как благоприятную. Показана важная роль почв низкой поймы в аккумуляции ¹³⁷Cs, поступающего с водосборной территории. Оценен вклад паводковых вод р. Енисей в накоплении ¹³⁷Cs в пойменных почвах острова. Выявленные закономерности распределения и уровни накопления техногенного радионуклида ¹³⁷Cs в аллювиальных отложениях о. Татышев, позволяют рассматривать их в качестве фоновых по отношению к образованиям, формирующимся ниже по течению реки в зоне влияния ФГУП “ГХК”.

Ключевые слова: Река Енисей, о. Татышев, Красноярск, радиационно-экологическая характеристика, почвы, растительный покров, радон

DOI: 10.1134/S0869780318050071

Остров Татышев – стабильно развивающийся рекреационно-спортивный центр г. Красноярска, ежегодно его посещают свыше 800 тыс. человек. Особенности его расположения обеспечивают доступность для жителей как правобережной, так и левобережной частей города. С дальнейшим развитием инфраструктуры, количество посетителей будет ожидаемо увеличиваться. Несмотря на это, рассматриваемая территория практически не изучена по показателям радиационной безопасности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА

В рамках настоящей работы в период 2011–2013 гг. выполнялась оценка таких показателей, как мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) внешнего гамма-излучения на высоте 1 м при помощи дозиметров ДКС-96П и МКС-АТ6130, объемная активность радона (ОАР) в почвенном воздухе (радиометр альфа-активных газов РГА-500 с почвенным зондом-пробоотборником), удельная активность естественных радионуклидов (ЕРН) и ¹³⁷Cs в почвах, грунтах и растительном покрове (рисунок).

Пешеходная поисковая гамма-съемка выполнялась однократно в 2011 г., в масштабе 1 : 1000 с использованием радиометра СРП 68-01. Удельная активность ЕРН и ¹³⁷Cs в образцах почв и грунтов определена на сцинтилляционном NaI(Tl) гамма-спектрометрическом комплексе МКГБ-01 “Радэк” в соответствии с МВИ-14-98. Изучение проб растительного материала, отобранных методом укосов с площадок 1 × 1 м, осуществлялось после предварительного озонения при температуре 550°C согласно ГОСТ 27784-88. Измерения почвы и грунтов выполнены в геометрии сосудов Мари-нелли объемом 1 дм³ (охватывающая геометрия), а растительной золы – 250 см³.

Одновременно были изучены параметры почв и грунтов, способные оказывать значительное влияние на emanацию радона и закономерности распределения ¹³⁷Cs и других элементов. Среди них – механические¹, физические² и физико-химические свойства отложений [1], их стратигра-

¹ ГОСТ 12536-79 Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) и микроагрегатного состава.

² ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

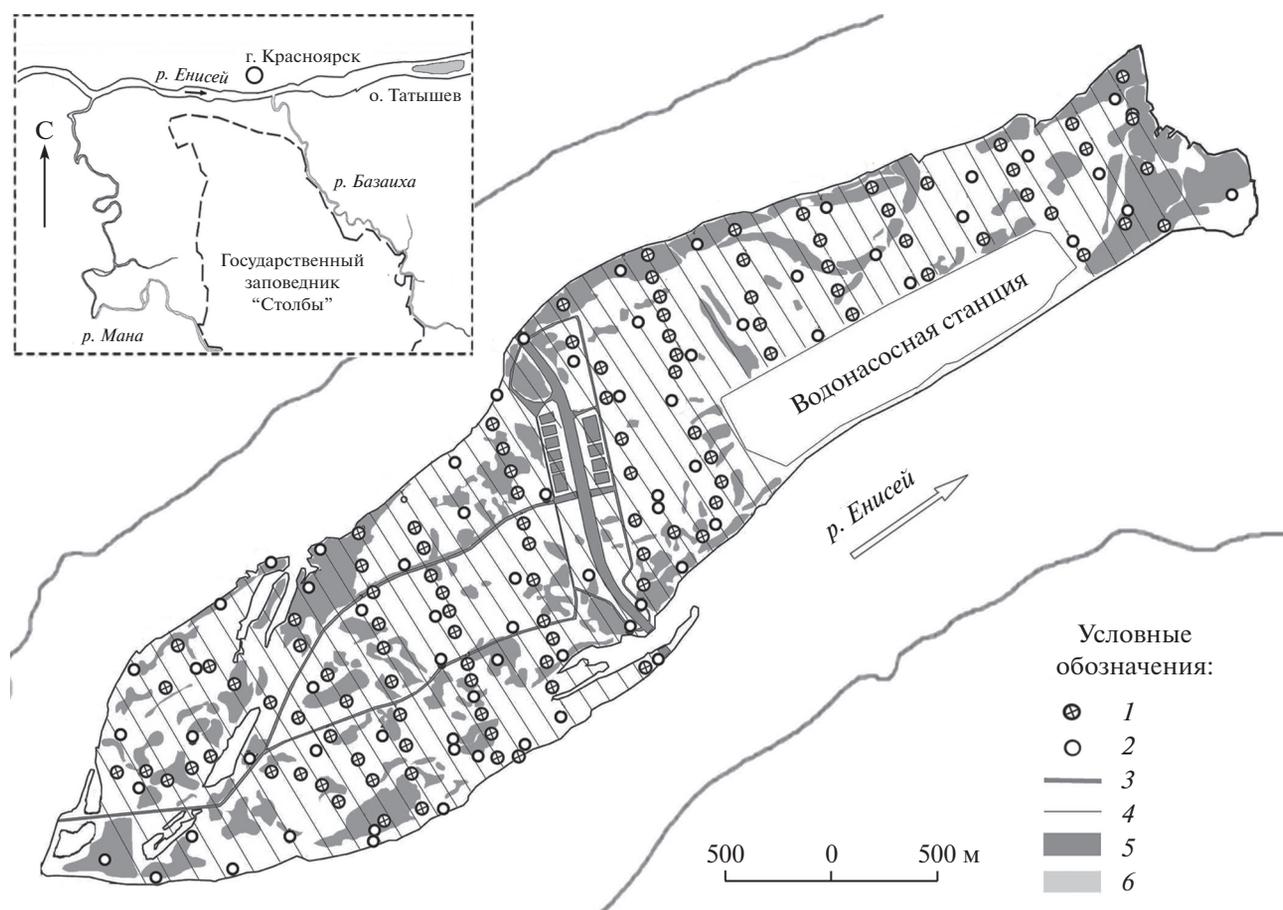


Рис. Схема расположения пунктов исследования в пределах о. Татышев. Условные обозначения: 1 – точки измерения ОАР; 2 – пункты отбора проб почв и грунтов; 3 – дороги с твердым покрытием; 4 – профили МАЭД; 5 – древесные насаждения; 6 – разнотравно-луговая растительность.

фическое строение до глубины 2.7 м (глубина залегания руслового аллювия), а также особенности вертикальной миграции почвенных растворов. Естественная влажность образцов грунта измерялась влагомером Delta-T HH2 непосредственно после извлечения их ручным буром Эйдельмана.

Время возникновения отложений, формирующих острова в среднем течении Енисея, относится к голоценовому периоду. Это хорошо согласуется со стратиграфией отложений, результатами радиоуглеродного датирования [12], а также археологическими находками [6].

Поверхность острова возвышается над урезом р. Енисей в среднем на 3–5 м. В литологическом составе пород, слагающих ключевые разрезы до глубины 2.4 м, основная роль принадлежит галечникам, пескам и супесям. В толще аллювиальных отложений прослеживаются многочисленные слойки, обогащенные органическим детритом, ожелезненные горизонты, а также в различной степени развитые погребенные почвы.

Современная поверхность острова представляет собой выровненную местность, пересечен-

ную системой ложбин с пологими склонами. Эти ложбины – старые, в разной степени заросшие протоки; в западной части острова их глубина достигает 2.0–2.5 м, а ширина возрастает с приближением к речному руслу. Отдельные участки подобных форм мезорельефа имеют следы техногенного преобразования. Современный микрорельеф острова является преимущественным фактором, определяющим водный и тепловой режим почв, а вместе с этим закономерности развития растительного покрова. За последние 30 лет значительная часть острова подверглась глубокой техногенной трансформации. В период 1979–2009 гг., при строительстве инженерных объектов (мосты, водозабор) производилась выемка рыхлых пород при помощи экскаваторов, барж, плавкранов, перекрытие протоков отсыпными дамбами и пр.

Современное строение поймы острова сложное – морфологически прослеживается три уровня, соответствующие уровневому режиму р. Енисей, находящемуся в зависимости от объемов сбросов Красноярской ГЭС. Наименьший из них

Таблица 1. Характерное распределение гранулометрических фракций в горизонтах аллювиальных почв о. Татышев

Индекс горизонта, (глубина, см)	Фракция (мм) и ее содержание (%)					
	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001
AU (0–21)	13	62	13	4	3	5
BC(са) (21–32)	18	48	24	5	2	4
C(са) (21–32)	15	70	12	2	1	0
AУ (0–6)	23	62	11	1	2	1
AУВ (6–20)	29	60	8	1	0	1
C (34–56)	12	73	14	0	0	0

отвечает уровню зимней межени, второй соответствует сбросам порядка 2900 м³/с, третий – свыше 3500 м³/с. При уровнях сброса свыше 6500 м³/с, значительная часть острова затапливается. Такая ситуация сложилась в 2006 г., когда сброс достигал 9000 м³/с, доходя в пиках до 10 500 м³/с, а уровни воды превысили 612 см над уровнем гидрологического поста “Красноярск”.

Гранулометрический состав аллювиальных отложений в пределах низкой поймы значительно варьирует и представлен песками рыхлыми, связными, супесями, реже – легкими и средними суглинками.

Поверхность высокой поймы сложена преимущественно песками связными (физический песок – 90%, физическая глина – 10%), реже супесями (физический песок – 89%, физическая глина – 11%); указанные отложения являются почвообразующими породами, и их гранулометрический состав в значительной степени унаследован формирующимися на них почвами (табл. 1).

Современный почвенный покров низкой поймы характеризуется доминированием почв аллювиальных слоистых (слаборазвитых), аллювиальных темногумусовых, реже аллювиальных болотных иловато-перегнойных. Последние приурочены к зарастающим протокам. В пределах высокой поймы представлены преимущественно аллювиальные темногумусовые и агротемногумусовые почвы. Для почв, как низкой, так и высокой поймы, характерно невысокое содержание гумуса (до 3.1%), нейтральная и слабощелочная реакция водной вытяжки (рН 7.2–8.0).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение мощности ambientного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения

В ходе выполнения пешеходной гамма-съемки было получено 3055 точечных показателя значения МАЭД гамма-излучения на высоте 1 м в пределах 59 пройденных маршрутных профилей,

расположенных на расстоянии 100 м параллельно друг другу.

Максимально зарегистрированное значение МАЭД гамма-излучения на исследуемой территории составило 0.17 мкЗв/ч, минимальное – 0.05 мкЗв/ч, среднее – 0.09 ± 0.013 мкЗв/ч. Максимальные значения наблюдаются на участках с поверхностным либо приповерхностным залеганием крупнообломочных отложений. Гамма-фон исследуемой территории формируется под действием излучения естественных радионуклидов, входящих в состав слагающих остров горных пород. Пестрота литологического состава аллювиальных (либо техногенных) отложений – основной фактор, определяющий вариации МАЭД гамма-излучения. Дополнительным фактором выступает близость залегания грунтовых вод. Минимальные значения МАЭД гамма-излучения фиксируются в пределах узкой полосы бичевника и переувлажненных, слабо заболоченных участков вдоль речного русла. Здесь сказывается, с одной стороны, экранирующее действие залегающей у поверхности воды, а с другой – близость русла, которая не позволяет рассматривать ограниченную урезом реки полосу бичевника как условно бесконечную излучающе-поглощающую среду.

На основании трехлетних наблюдений можно сделать вывод, что зафиксированные значения МАЭД гамма-излучения не претерпевают значительных колебаний, выходящих за границы погрешности измерений (15%), при условии неизменности текущих условий залегания осадочных пород. Сказанное не относится к измерениям, выполненным в период лежания снежного покрова. В этом случае измеренные значения МАЭД гамма-излучения всегда оказывались меньше зарегистрированных в летнее время, что определяется поглощением гамма-квантов в снежном слое. Какого-либо универсального коэффициента пересчета в данном случае привести невозможно, поскольку ослабление гамма-излучения определяется толщиной покрова и плотностью снега. Все полученные авторами в зимнее время

Таблица 2. Усредненные показатели удельных активностей ЕРН в почвах и грунтах

ЕРН	Макс, Бк/кг	Мин, Бк/кг	Среднее, Бк/кг	Количество проб
²²⁶ Ra	39.5	12.6	22.5 ± 3.4	126
²³² Th	34.2	11.8	23.6 ± 3.7	
⁴⁰ K	638	184	464 ± 70	

Таблица 3. Величина эффективной удельной активности различных аллювиальных отложений

Материал		Удельная активность, Бк/кг			A _{эфф}
		²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	
Галечник	крупный	36.8	33.4	248	101.6
	средний	17.6	22.8	593	97.9
	мелкий	25.7	23.9	569	105.4
Гравий средний		17.8	25.8	638	105.8
Песок	рыхлый	22.4	26.2	417	92.2
	связный	15.6	19.0	529	85.5
Супесь легкая		12.7	24.2	484	85.5
Суглинок легкий		15.6	21.4	318	70.7

значения МАЭД гамма-излучения удовлетворительно описываются соотношением [4]:

$$N'_3(S) = N_3 e^{-\mu S}, \quad (1)$$

где N'_3 – зафиксированные значения МАЭД гамма-излучения над снегом; N_3 – значения МАЭД гамма-излучения без снежного покрова; μ – массовый коэффициент поглощения (см²/г); S – влагозапас в снеге (г/см²). Массовый коэффициент поглощения μ условно может быть принят равным 0.03 см²/г [5].

Активность ЕРН и ¹³⁷Cs в почвах и грунтах

Значение МАЭД гамма-излучения в пределах исследуемой территории – интегральная характеристика всех радиологических процессов. Тем не менее, в значительной степени МАЭД определяется содержанием естественных радионуклидов в почвах и грунтах; основные из них: ⁴⁰K, ²³²Th и ²²⁶Ra (как дочерний продукт распада ²³⁸U).

В табл. 2 представлены усредненные показатели удельных активностей ЕРН в почвах и грунтах о. Татышев. Распределение ЕРН в почвах и осадочных отложениях острова неоднородно, что связано со сменой динамических стадий осадко-накопления.

Поскольку все аллювиальные осадки острова потенциально могут быть использованы в каче-

стве строительных материалов, для 126 проб почв и грунтов выполнен расчет величины эффективной удельной активности ($A_{эфф}$). Согласно НРБ-99/2009³,

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1.3A_{Th} + 0.09A_K, \quad (2)$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_K – удельные активности радия, тория и калия соответственно, Бк/кг; 1.3 и 0.09 – взвешивающие коэффициенты для ²³²Th и ⁴⁰K соответственно по отношению к ²²⁶Ra.

Эффективная удельная активность зависит от гранулометрического состава, ее более высокие значения характерны для галечников и гравия (табл. 3).

Вариации активностей ЕРН в отложениях русловой макрофашии достаточно велики и полностью обуславливаются минералогическим составом грубообломочных пород. В свою очередь, средне- и мелкообломочные осадки пойменной макрофашии (пески, суглинки) отличаются более устойчивыми значениями ЕРН, что связано с их достаточно стабильным полиминеральным составом, который возник в результате многократного смешения в ходе циклов транспортировки.

В соответствии с НРБ-99/2009, все исследованные пробы почв и грунтов имеют эффективную удельную активность природных радионуклидов менее 370 Бк/кг, в связи с чем не имеют ограничений с позиции их использования.

Изучение удельной активности и запасов ¹³⁷Cs в почвах и грунтах острова представляется весьма актуальным, поскольку он может обеспечивать определенный вклад в дозу внешнего облучения, что требует соответствующей оценки. Одновременно, пойменные ландшафты острова могут рассматриваться в качестве фоновых при радиологическом мониторинге по отношению к расположенным ниже по течению ландшафтам, подвергнувшимся радиоактивному загрязнению вследствие деятельности ФГУП “Горно-химический комбинат”.

Удельная активность ¹³⁷Cs в почвах и грунтах острова, по результатам исследования 126 проб в период 2011–2013 гг., изменялась в пределах от 3.5 до 34.9 Бк/кг и составляла в среднем 15.6 ± ± 1.7 Бк/кг. Эта величина, характеризующая интенсивность накопления ¹³⁷Cs пойменными отложениями, вполне объяснимо превышает средний показатель для почв лесостепных и подтаежных денудационно-аккумулятивных равнин и низкогорий центральных и южных районов Красноярского края – 7 Бк/кг. Накопление ¹³⁷Cs сопряжено с поверхностью низкой и средней поймы и приурочено к верхним горизонтам слоисто-аллювиальных и темногомусовых почв, характери-

³ СанПиН 2.6.1.2523-09 “Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)”. <http://docs.cntd.ru/document/90217553>

Таблица 4. Удельная активность (Бк/кг) ЕРН и ^{137}Cs в аллювиальных отложениях в центральной части о. Татышев (фрагмент разреза)

Глубина отбора, м	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	Влажность, %
0.0–0.07	10.2 ± 1.6	12.9 ± 1.4	424 ± 42	20.4 ± 2.3	25.8
0.07–0.15	15.5 ± 2.7	18.8 ± 1.9	392 ± 38	10.4 ± 1.3	25.1
0.15–0.30	18.9 ± 2.8	19.8 ± 2.0	468 ± 47	5.8 ± 1.0	21.3
0.30–0.60	27.5 ± 5.0	20.6 ± 2.6	421 ± 41	<3.5	17.8
0.60–0.90	26.2 ± 4.3	21.6 ± 2.9	446 ± 45	<3.5	12.9
0.90–1.20	24.1 ± 3.7	24.3 ± 2.5	457 ± 43	<3.5	9.2
1.45–1.60	22.8 ± 2.8	21.5 ± 2.1	443 ± 44	<3.5	8.4
1.60–1.75	15.0 ± 2.5	26.6 ± 2.6	479 ± 48	6.3 ± 1.0	31.6

зующихся повышенным содержанием фракции физической глины. Помимо гумусово-аккумулятивного горизонта, наибольшая удельная активность ^{137}Cs фиксируется в погребенных органо-генных горизонтах и слоях, залегающих на глубине не более 15 см от дневной поверхности. Накопление изотопа здесь происходит, вероятно, под влиянием двустороннего барьера – инфильтрационно-нисходящего и восходящего. Запас ^{137}Cs в верхнем 15-сантиметровом слое почв низкой поймы может достигать 4.6 кБк/м², при этом удельная активность изменяется в диапазоне от 4.8 до 34.9 Бк/кг при среднем значении 19.1 ± 2.2 Бк/кг. Следует отметить, что на участках низкой поймы, где на поверхности залегают лишь крупнообломочные породы, представленные галечниками и гравием (с незначительным количеством мелкоземистого заполнителя), удельная активность изотопа не превышает 4 Бк/кг. Подобное свойственно преимущественно правобережной части острова.

Удельная активность ^{137}Cs в почвах и грунтах высокой поймы⁴, рассчитанная по результатам измерений 54 проб, варьировала в пределах от 3.6 до 15.6 Бк/кг и составила в среднем 7.6 ± 2.1 Бк/кг, при среднем запасе в верхнем 15-сантиметровом слое – 1.6 кБк/м². Лишь для одной пробы, взятой в ходе послейного детального изучения отложений, в интервале глубин 0.0–7.0 см на участке в центральной части острова, было получено значение 20.4 Бк/кг (табл. 4).

Определенный интерес представляет изучение интенсивности вертикальной миграции ^{137}Cs в толще аллювиальных отложений, сложенных песчаными и супесчаными разностями, которые обладают высокой водопроницаемостью. В связи с тем, что вертикальная миграция ^{137}Cs в почвах возможна преимущественно при движении поч-

венного раствора, в работе учитывались физические и физико-химические особенности грунтов, слагающих остров от поверхности до глубины залегания руслового аллювия.

Установлено, что максимальные значения естественной влажности характерны для осеннего периода (конец сентября–начало октября). Однако даже в этот период существующий невысокий уровень атмосферных осадков в регионе ограничивает активное проникновение почвенных растворов на глубину свыше 85 см. Так, если в верхних почвенных горизонтах влажность составляла 18–27%, то на глубине 90 см не превышала 9%. С глубины 180–190 см влажность отложений возрастает, что связано с влиянием грунтовых вод.

Изучение содержания радионуклида в аллювиальных отложениях до глубины 2.0 м позволило установить, что, несмотря на хорошую водопроницаемость пород, даже на участках со слабо развитым почвенным покровом и низким содержанием гумуса, его активность на глубине свыше 30 см практически всегда находится ниже пределов обнаружения (3 Бк/кг). Данные табл. 4 показывают, что ^{137}Cs выделяется в ряду других радионуклидов. Его вертикальное распределение существенно коррелирует с глубиной и влажностью грунта в профиле.

Это объясняется как отмеченным выше слабым проникновением осадков вглубь почвогрунтов, так и гранулометрическим составом отложений. Значительная часть толщи отложений представлена песками рыхлыми и связными. Содержание физической глины составляет менее 7%, при этом доля илстой фракции – менее 2%. Содержание в рыхлых породах илстой фракции (минералов монтмориллонитовой группы, слюд и гидрослюд) – одна из основных причин закрепления ^{137}Cs , где его ионы прочно фиксируются, изоморфно замещая калий в кристаллических решетках. В песчаных отложениях с минимальным содержанием илстой фракции указанное явление выражено незначительно.

⁴ Государственный доклад “О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2009 год”. Красноярск 2010. 237 с. http://www.krskstate.ru/dat/bin/art_attach/1244_doklad2009.pdf

Наибольший интерес вызывает зафиксированное значение уровней удельной активности ^{137}Cs в 6.3 ± 2.0 Бк/кг в отложениях в интервале глубины 160–175 см. Отложения здесь слабо ожелезнены, представлены супесью. Даже учитывая легкий гранулометрический состав и низкую емкостью поглощения пород (2–3 мг-экв/100 г), возможность вертикальной миграции ^{137}Cs вниз по профилю маловероятна. Она исключается как минимум тем фактом, что выше в разрезе, в интервале глубин 69–84 см, присутствует серия погребенных органогенных горизонтов супесчаного и легкосуглинистого состава с содержанием физической глины до 20%. Отложения подобного состава способны выполнять роль геохимического барьера, однако повышенных концентраций ^{137}Cs в них проведенными исследованиями не установлено.

Таким образом, зафиксированное присутствие изотопа в нижней части толщи можно объяснить тем, что поступление ^{137}Cs связано с русловыми водами р. Енисей, которые инфильтруются через хорошо проницаемые породы песчаного и гравийно-песчаного состава. В пределах границы колебания уровня грунтовых вод, на окислительно-восстановительном барьере происходит осаждение соединений железа, которые выступают эффективными аккумулянтами ^{137}Cs [8, 11].

По всей видимости, интенсификации водообмена в подошве отложений в восточной части острова способствует “депресссионная воронка”, формирование которой обусловлено деятельностью водозабора о. Татышев. Необходимо отметить однако, что в целом влияние водозаборов на накопление ^{137}Cs в толще островных отложений остается неизученным явлением.

Сопоставление результатов содержания ^{137}Cs в отложениях низкой и высокой поймы, позволяет оценить величину его гидрогенного поступления с водами р. Енисей. Поскольку элементы высокой поймы после строительства Красноярской ГЭС крайне редко подвергаются затоплению (исключением являлись 1988 и 2006 гг.), содержание ^{137}Cs в почвах и грунтах высокой поймы следует рассматривать как величину, преимущественно обусловленную его атмосферным поступлением (глобальным выпадением).

Средняя величина удельной активности ^{137}Cs в почвах и грунтах высокой поймы (7.6 Бк/кг), полученная в результате выполненных исследований, сопоставима с величиной регионального фона для территории центральных районов Красноярского края (7–9 Бк/кг)⁵ и может свидетель-

ствовать о поступлении его за счет глобальных выпадений.

В свою очередь, накопление ^{137}Cs в пределах почв и грунтов низкой поймы до 23.7 Бк/кг происходит преимущественно в результате гидрогенного поступления и последующего осаждения глинистыми минералами. Полученные результаты хорошо согласуются с данными других работ по исследованию накоплений техногенных радионуклидов в поймах рек [3, 10].

Таким образом, разница между концентрацией ^{137}Cs в почвах низкой и высокой поймы, составляющая 16.1 Бк/кг, может объясняться гидрогенным вкладом реки и процессами аккумуляции его на низких геоморфологических формах пойменного рельефа в результате предшествующего смыва с поверхности водосборного бассейна [7, 9].

Следует заметить, что накопленный в верхней части почвенного покрова техногенный радионуклид ^{137}Cs вносит определенный вклад в величину гамма-фона территории. Для оценки этого вклада в формирование дозы внешнего облучения авторами выполнен соответствующий расчет. В качестве расчетного участка выбрана поверхность острова, в пределах которой локально зафиксирована удельная активность (УА) изотопа на уровне 30 Бк/кг. Эквивалентная доза внешнего облучения ($D_{\text{эквив}}$) на высоте 1 м за счет рассматриваемого изотопа составит здесь около 11 нЗв/ч, что следует признать крайне незначительной величиной. Учитывая кратковременное пребывание населения на рассматриваемой территории, полученными значениями можно пренебречь.

Содержание ^{137}Cs в травянистых растениях

С целью оценки биологической доступности техногенного изотопа ^{137}Cs выполнено изучение его накопленной активности в пробах травянистой растительности в конце вегетационного сезона. Отбор проб растительного материала осуществлялся на 5 пробных площадках размером 3×3 м, расположенных в восточной части острова. Травянистая растительность здесь представлена луговым разнотравьем со значительным участием *Phleum phleoides*, *Potentilla argentea*, *Ranunculus circinatus*, *Rumex confertus*, и, в меньшей степени, *Elytrigia repens*, *Anemone sylvestris*, *Galium verum*.

Сбор материала выполнен методом укосов в середине августа 2011 и 2012 гг. Разбор по видовой принадлежности растений, в виду специфики исследований, не осуществлялся, весь полученный с каждой пробной площадки растительный материал доводился до абсолютно-сухого состояния,

⁵ Радиационно-экологический паспорт Красноярского края за 2010 год. Красноярск, 2011 // <http://krasnoyarsk.reg-news.org/doc/be/ay.htm>

взвешивался и озолялся в муфельной печи при температуре 450°C.

В среднем, общая зольность надземных органов травянистых растений изменялась в пределах от 7.5 до 9.4%. Удельная активность ^{137}Cs в золе 4-х исследованных проб оказалась ниже порога определения (<3 Бк/кг). В одной пробе золы УА изотопа составила 4.1 ± 1.26 Бк/кг, что, учитывая зольность пробы, равную 7.8%, демонстрирует УА ^{137}Cs на уровне 0.32 Бк/кг в пересчете на абсолютно-сухое вещество. Таким образом, накопление изотопа травянистыми растениями в пределах исследованной территории следует считать несущественным.

Объемная активность радона в почвенном воздухе

Объемная активность ^{222}Rn (ОАР) в почвенном воздухе — важный показатель для оценки потенциальной радоноопасности территорий. Почвенный воздух в большинстве случаев приносит основную компоненту радона в помещения различного назначения. Количество радона в почвенном воздухе определяется преимущественно количеством ^{226}Ra и проницаемостью почвы.

Измерение ОАР в почвенном воздухе выполнялось в весенне-летнее время в 2011–2012 гг. в 43 постоянных точках, на глубине 0.7 м. Минимально зарегистрированное значение составило 1400 Бк/м³, максимальное — 10350 Бк/м³. Среднее значение на обследуемой территории составляет 4360 ± 1300 Бк/м³.

Минимальные значения ОАР в почвенном воздухе приурочены к участкам, на которых слабо развит напочвенный покров, а грунты представлены супесями и песками, которые представляют собой легко проницаемый барьер на пути газа к атмосфере. Невысокие значения характерны также для пониженных элементов рельефа, где уровень грунтовых вод находится в непосредственной близости от дневной поверхности. Таким образом, вся низкая пойма характеризуется значениями ОАР, как правило, не превышающими 2500 Бк/м³.

Высокие значения ОАР характерны для поверхности острова, соответствующей уровню высокой поймы. Всего выявлено 7 точек, в которых ОАР в почвенном воздухе достигала величины 8340 ± 2500 – 10350 ± 1552 Бк/м³. Данные участки не способны обеспечить превышение объемной активности радона в приземном воздухе и не представляют опасности для населения. Тем не менее, внимание им должно быть уделено в слу-

чае организации строительства зданий и сооружений в соответствии с МУ 2.6.1.2398-08⁶ для установления перечня и характера радонозащитных мероприятий при их проектировании.

Отмечено значительное варьирование значений во времени. Зарегистрированные максимумы в 2011 и 2012 гг. совпадают с повышением уровня р. Енисей в начале лета, при этом в 2012 г. максимальные значения ОАР не превышали 7800 Бк/м³. Причиной высоких значений ОАР в почвенном воздухе может служить множество факторов.

В пределах рассматриваемых пунктов удельная активность ^{226}Ra в грунтах до глубин 1.4–2.9 м соответствует средним величинам (24 Бк/кг). Зарегистрированный диапазон значений ОАР вполне может быть объяснен местными, локальными источниками радона, т.е. эманированием местных грунтов за счет распада содержащегося в них радия.

В то же время сопоставление полученных значений ОАР в почвенном воздухе с геологической картой позволило выявить следующую закономерность. Строго говоря, рассматриваемые точки с максимальными зафиксированными значениями ОАР соответствуют линиям главных разрывных нарушений, отраженным на геологической карте окрестностей г. Красноярск (1 : 100000) [2]. Все разломы северо-западного простирания в пределах городской черты являются фрагментами региональной тектонической структуры — Канско-Агульского надвига. С направлением разломов совпадают главные системы трещин и плоскостей отдельностей, которые могут служить каналами поступления радона к поверхности [13].

Таким образом, следует учитывать возможность поступления ^{222}Rn из зоны разрывных нарушений вследствие конвекционно-диффузионных процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам измерения основных радиационных показателей, таких как мощность амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения, удельная активность естественных и техногенных радионуклидов в образцах почв и грунтов, их эффективной активности, можно охарактеризовать радиационно-экологическую обстановку в пределах о. Татышев как благоприятную.

⁶ Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности: Методические указания МУ 2.6.1.2398-08. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 27 с.

Показана преобладающая роль почв низкой поймы в аккумуляции ^{137}Cs в естественных условиях, оценен гидрогенный вклад р. Енисей в поступление ^{137}Cs , который на период исследований мог достигать 16.1 Бк/кг.

Сделан вывод о том, что внутрпочвенная дифференциация, связанная с изменением гранулометрического состава и аккумуляцией гумуса в виде погребенных горизонтов, увеличивает функции этих почв как комплексных геохимических барьеров.

Выявленные закономерности распределения и уровни накопления техногенного радионуклида ^{137}Cs в аллювиальных отложениях о. Татышев позволяют рассматривать их в качестве фоновых по отношению к образованиям, формирующимся ниже по течению реки в зоне влияния ФГУП "ГХК".

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. 491 с.
2. Геологическая карта окрестностей Красноярска / Сост. и подгот. к печати: Ю.А. Задиченский, Г.В. Миронюк, О.Ф. Якунина. 1:100 000. Красноярск: ОАО Красноярскгеолсъемка, 1990.
3. *Гриневиц С.В., Клементьева Е.А.* Поведение тяжелых металлов и радионуклидов в почве и растениях на пойменных лугах пригорода г. Гомеля // Сахаровские чтения 2010 года: экологические проблемы XXI века. Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2010. С. 23.
4. *Дмитриев А.В., Фридман Ш.Д.* Основы дистанционных методов измерения влагозапасов в снеге и влажности почв по гамма-излучению Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 304 с.
5. *Иванов Б.А., Осис В.Б.* Радиоэлектронный снегомер // Научные труды УкрНИГМИ. 2002. Вып. 250. С. 389–397.
6. *Карцев В.Г.* Материалы к археологии Красноярского района. Красноярск: Государственная типо-литография, 1929. 58 с.
7. *Кузнецов Ю.В., Ревенко Ю.А., Легин В.К. и др.* К оценке вклада реки Енисей в общую радиоактивную загрязненность Карского моря // Радиохимия. 1994. Т. 36. Вып. 6. С. 546–558.
8. *Легин Е.К., Трифонов Ю.И., Хохлов М.Л. и др.* Влияние биогенного восстановления железа в почвах на миграционное поведение радионуклидов и тяжелых металлов // Труды Радиового института им. В.Г. Хлопина. 2007. Т. XII. С. 148–168.
9. *Носов А.В., Ашанин М.В., Иванов А.Б., Мартынова А.М.* Радиоактивное загрязнение реки Енисей, обусловленное сбросами Красноярского ГХК // Атомная энергия. 1993. Т. 74. Вып. 2. С. 144–150.
10. *Петрова Т.Б., Микляев П.С., Власов В.К., Семенов О.В.* Техногенная миграция цезия-137 в городских экосистемах // Матер. Междунар. конф. "Город и геологические опасности". СПб.: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 2006. С. 159–163.
11. Руководство по методам контроля за радиоактивностью окружающей среды / Под ред. И.А. Соболева, Е.Н. Беляева. М.: Медицина, 2002. 432 с.
12. *Турыгина О.В., Демиденко Г.А.* Реконструкция пойменных экосистем среднего течения реки Енисей в голоцене: научное издание. Красноярск: КГПУ им. В.П. Астафьева, 2010. 154 с.
13. *Чечеткин В.А., Григорьев А.И., Кургуз С.А., Акимова А.В.* Природная радиоактивность геологических формаций района Красноярска и особенности их радононосности // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: матер. IV Междунар. конф., Томский политехнический университет. Томск: Изд-во ТПУ, 2013. С. 559–565.

RADIOECOLOGY PROPERTIES OF THE TATYSHEV ISLAND (KRASNOYARSK)

A. R. Mitev^{a, #}, R. A. Sharafutdinov^a, V. L. Gavrikov^a, and V. A. Chechetkin^b

^aSiberian Federal University, Svobodnyi pr. 79, Krasnoyarsk, 660041 Russia

^bLaboratory of radiation monitoring, JSC "SHANECO", Krasnoyarsk branch,
ul. Vysotnaya 2, str. 8, Krasnoyarsk, 660062 Russia

[#]E-mail: a.r.mitev@gmail.com

Results of three-years-long study of radiation and ecological conditions on the Tatyshchev Island in the Yenisei River are presented in the article. The island is located 70 km upstream from a mining and chemical enterprise FSUE "MCC". The measurements of gamma-radiation ambient dose equivalent and specific activity of natural and technogenic radionuclides in soils and subsoils showed that radiological and ecological conditions of the Tatyshchev Island may be considered to be safe. An important role of fluvisols of low floodplain in accumulating of ^{137}Cs coming from the catchment area is shown. The role of seasonal streams of the river in the accumulation of ^{137}Cs is estimated. The relationships established allow one to consider the observed levels of the isotope accumulation on the Tatyshchev Island as background values for a comparison with those observed downstream from FSUE "MCC".

Key words: Yenisei River, the Tatyshchev Island, Krasnoyarsk, radiation-ecological characteristics, soil, vegetation, radon.

REFERENCES

1. Arinushkina, E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Guide to chemical analysis of soil]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1961, 491 p. (in Russian)
2. *Geologicheskaya karta Krasnoyarska* [Geological map of Krasnoyarsk]. Yu.A. Zadichensky, G.V. Mironyuk, O.F. Yakunin. 1:100000, Krasnoyarsk, Krasnoyarsk-geols'emka, 1990.
3. Grinevich, S.V., Klement'eva, E.A. The behavior of heavy metals and radionuclides in soil and plants in the floodplain meadows suburb of Gomel. *Sakharovskie chteniya 2010 goda: ekologicheskie problemy XXI veka* [Sakharov readings 2010: environmental problems in the XXI century]. Minsk, 2010, p. 23.
4. Dmitriev, A.V., Fridman, Sh.D. *Osnovy distantsyonnykh metodov izmereniya vlagozapasov v snege i vlazhnosti pochv po gamma izlucheniyu Zemli* [Fundamentals of remote sensing methods of measurement of moisture reserves in the snow and soil moisture by the gamma radiation of the Earth], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1979. 304 p. (in Russian)
5. Ivanov, B.A., Osis, V.B. Radioelectronic snow gauge. *Nauchnye Trudy UkrNIGMI* [Proceedings UkrNIGMI], 2002, vol. 250, pp. 389–397. (in Russian)
6. Karstev, V.G. *Materialy k arkheologii Krasnoyarskogo raiona* [Materials to the archeology of the Krasnoyarsk region], Krasnoyarsk, 1929. 58 p. (in Russian)
7. Kuznetsov, Yu.V., Revenko Yu.A., Legien, V.K. etc. To the assessment of the Yenisei River contribution to the total radioactive contamination of the Kara Sea. *Radio-khimiya*, 1994, vol. 36, no. 6, pp. 546–558. (in Russian)
8. Legien, E.K., Trifonov, Yu.I., Khokhlov, M.L. etc. The impact of nutrient reduction of iron in soil on the migratory behavior of radionuclides and heavy metals. *Trudy Radiyevogo instituta im. V.G. Khlopina* [Proceedings of the Khlopin Radium Institute.], 2007, vol. XII, pp. 148–168. (in Russian)
9. Nosov, A.V., Ashanin, M.V., Ivanov, A.B., Martynova, A.M. Radioactive contamination of the Yenisei River caused by discharges at Krasnoyarsk MCC. *Atomnaya energiya*, 1993, vol. 74, no. 2, pp. 144–150. (in Russian)
10. Petrova, T.B., Miklyaev, P.S., Vlasov, V.K., Semenyuk, O.V. Technogenic migration of cesium-137 in urban ecosystems. *Mater. Mezhdunar. Konf. "Gorod i geologicheskie opasnosti"* [Proc. Intern. Conf. "City and geological hazards."]. St. Petersburg, VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 2006, pp.159–163.
11. *Rukovodstvo po metodam kontrolya za radioaktivnost'yu okruzhayushchei sredy* [Guidance on the control methods over environmental radioactivity], I.A. Sobolev, E.N. Belyaev, Eds., Moscow, Meditsina, 2002. 432 p.
12. Turygina, O.V., Demidenko, G.A. *Rekonstruktsiya poimennykh ecosystem srednego techeniya reki Enisey v golo-tsene* [Reconstruction of floodplain ecosystems of the middle reaches of the Yenisei River in the Holocene]. Krasnoyarsk: KSPU im. V.P. Astafieva, 2010. 154 p. (in Russian)
13. Chechetkin, V.A., Grigoriev, A.I., Kurguz, S.A., Aki-mova, A.V. Natural radioactivity of geological formations in the Krasnoyarsk region and peculiarities of their radon hazard. *Radioaktivnost' i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka. Mater. IV Mezhdunar. Konferentsii, Tomskii politekhnicheskii universitet.* [Radioactivity and radioactive elements in human environment: Proceedings of the IV International Conference, Tomsk Polytechnic University]. Tomsk, Izd-vo TPU, 2013, pp. 559–565 (in Russian).