

УДК 341.49.23.17

ОБ УРОВНЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ПОЙМЕ р. МАРХА (БАССЕЙН р. ВИЛЮЙ)

В. Е. Ушницкий¹, Д. Д. Ноговицын², П. И. Собакин³, Т. В. Аргунова¹

¹Министерство охраны природы Республики Саха (Якутия), г. Якутск
E-mail: uschnitski@mail.ru

²Институт физико-технических проблем Севера СО РАН, г. Якутск
E-mail: d.Nogovitsyn@iptpn.ysn.ru

³Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск
E-mail: radioecology@yandex.ru

В результате мирных подземных ядерных взрывов «Кристалл» и «Кратон-3», проведенных в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия), произошло загрязнение продуктами деления поймы рр. Далдын и Марха. Целью работы было определение характера и уровней загрязнения радионуклидами поймы р. Марха. На выбранных участках выполнены инструментальная съемка реки и отбор образцов проб. В пойменной почве и донных отложениях р. Марха на значительных расстояниях от объектов «Кристалл» и «Кратон-3» обнаружено содержание ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr и ²⁴¹Am в количестве, превышающем уровни глобальных выпадений, характерных для исследуемой местности.

Ключевые слова: пойменные (аллювиальные) почвы, почвенный профиль, горизонты почв, донные отложения, мирные подземные ядерные взрывы, глобальные выпадения, радионуклиды, гамма-спектрометрический анализ, удельная активность, плотность загрязнения радионуклидами, гидрология, инструментальная съемка реки, гидроствор.

Мирные подземные ядерные взрывы (ПЯВ) «Кристалл» (2 октября 1974 г.) и «Кратон-3» (24 августа 1978 г.) в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия) привели к загрязнению продуктами деления дневной поверхности с образованием радиоактивного следа.

Начиная с 1990 г. эти объекты исследовали специалисты республиканских надзорных и контрольных органов, проектных и научно-исследовательских организаций, в результате чего были определены размеры загрязненной территории, уровни загрязнения почв, растений и донных отложений радионуклидами ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ⁶⁰Co, ²⁴¹Am и ^{239,240}Pu (Киселев, Бурцев, 2000; Собакин и др., 2004а,б; Gedeonov et al., 2002; Ramzaev et al., 2002).

Государственная экспертная комиссия, изучив материалы радиоэкологических исследований, квалифицировала мирные подземные ядерные взрывы как радиационные аварии (Бурцев и др., 2000).

Рекультивационные работы на промплощадке объекта «Кратон-3» были проведены в 1981 г., а на объекте «Кристалл» – в 1992 г. Как показали

исследования последних лет, предпринятыми мерами предотвратить поверхностную миграцию радионуклидов и загрязнение рр. Далдын и Марха не удалось.

Целью работы было определение характера и уровней загрязнения радионуклидами поймы р. Марха.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 1993 г. Госатомнадзором Республики Саха (Якутия) были организованы работы по р. Марха и ее правому притоку р. Моркока в 150–200 км от места взрыва «Кратон-3» по направлению радиоактивного следа. По результатам радиохимического анализа 15 проб содержание ¹³⁷Cs в донных отложениях составляло от 0,7±0,3 до 14,8±0,8 Бк/кг, а стронция-90 – от 0,9±0,3 до 10,1±0,5 Бк/кг. Фоновые значения удельной активности ¹³⁷Cs в донных отложениях по результатам этих анализов оцениваются как 1,9±1,5 Бк/кг, а стронция-90 – 3,8±1,6.

Геохимическая партия ГУП «Якутская поисково-съемочная экспедиция» в 1997 г. в региональном маршруте сплавом по рр. Марха и Далдын выполнила отбор 100 проб донных отложений. Анализ

содержания гамма-излучающих радионуклидов и плутония в донных отложениях из бассейна р. Марха проводили в радиоэкологической лаборатории НПО «Радиевый институт им. В. Г. Хлопина»; для измерения содержания радионуклидов на уровне глобальных загрязнений пробы с малыми навесками объединялись. Во всех проанализированных пробах донных отложений из бассейна р. Марха содержание ^{239}Pu составляло менее 0,05 Бк/кг. В 22 пробах из 31 измеренной получено содержание ^{137}Cs менее 2 Бк/кг, т. е. меньше минимально детектируемой активности (МДА), из чего можно предположить, что фоновое значение содержания ^{137}Cs в донных отложениях р. Марха находилось на уровне или менее МДА.

В ходе радиоэкологических работ, выполненных Якутским госуниверситетом в 2001 г., во время сплава по р. Марха от моста автодороги Мирный – Удачный до объекта «Кратон-3» были отобраны почвы низкой поймы р. Марха и ее притоков. Содержания радионуклидов в образцах определяли на полупроводниковом гамма-спектрометре фирмы «Canberra» США с XtRa REGe детектором. Максимальные уровни загрязнения ^{137}Cs пойменных почв р. Марха вблизи объекта «Кратон-3» составляли от 3,2 до 34,1 кБк/м². Особенностью исследованных пойменных почв было наличие значимых количеств ^{241}Am вверх по течению р. Марха от объекта «Кратон-3». Плотность загрязнения почв ^{241}Am составляла 22–71 Бк/м², что от 3 до 11 раз превышало уровни глобальных выпадений (Ушницкий и др., 2003). В этом районе аэрогамма-спектрометрической съемкой 1990 г. обнаружены пятна загрязнения от ПЯВ «Кратон-3», образованные в результате резкого изменения направления ветра и сноса радиоактивного облака вверх по течению р. Марха.

Таким образом, анализ результатов исследований 1993, 1997 и 2001 г. на р. Марха и ее притоках позволяет сделать вывод о том, что фоновые уровни загрязнения ^{137}Cs донных отложений находились на уровне 2 Бк/кг, а уровни загрязне-

ния поймы радионуклидами ^{137}Cs и ^{241}Am местами превышали уровни, характерные для исследуемой местности.

Полагая, что большая часть взвесей р. Марха осаждается вне русловой ложбины, преимущественно в западинах и отдаленных от русла заливах, на р. Марха выбрали три участка: два в зоне влияния ПЯВ «Кратон-3» на расстоянии 39,3 и 92,3 км от него и один в зоне совместного воздействия аварийных взрывов «Кратон-3» и «Кристалл» на расстоянии соответственно 105 км от первого и 71,5 км от второго. Схемы расположения участков показаны на рис. 1 и обозначены как гидростворы 1, 2 и 3.

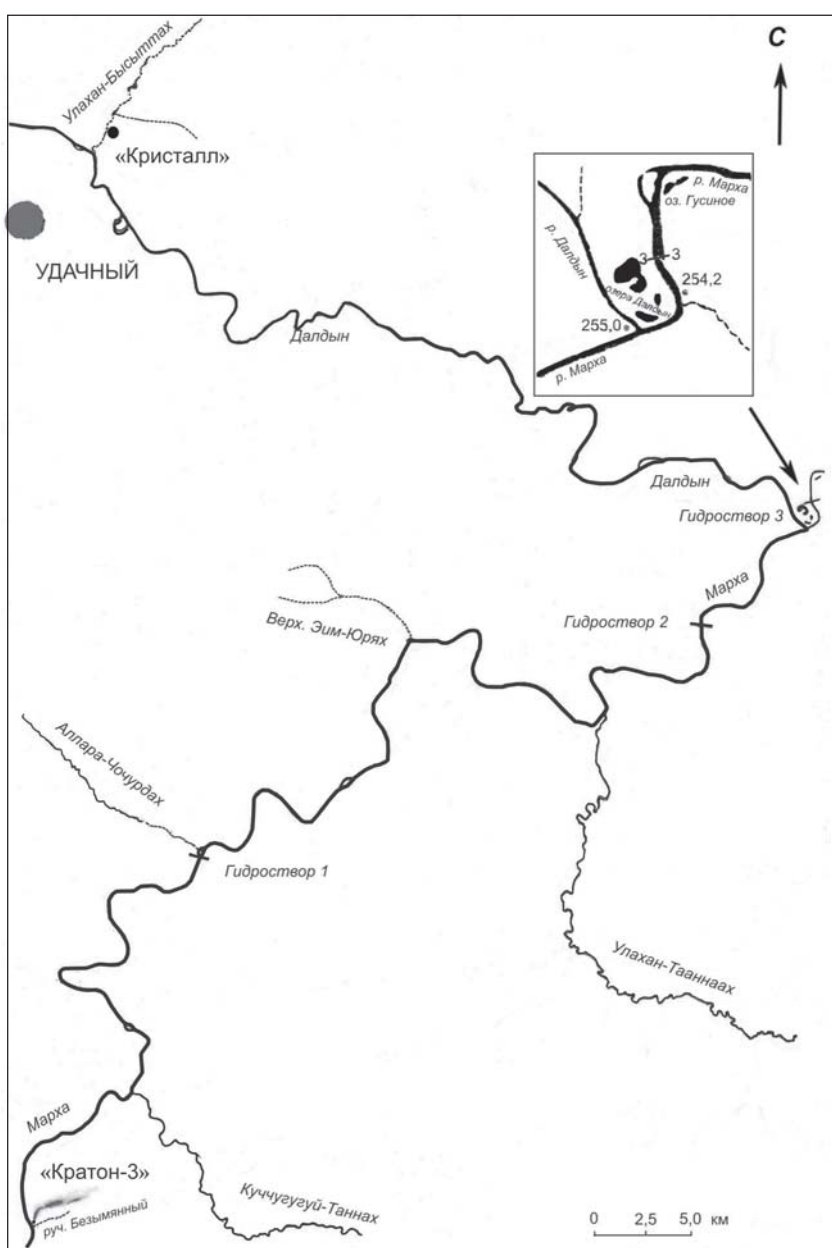


Рис. 1. Географическое положение объектов «Кристалл» и «Кратон-3» и расположение мест отбора проб на р. Марха

Fig. 1. Location of «Crystal» and «Craton-3» sites and sampling sites in the Markha R. area

Исследования осуществлены сплавом на лодках по р. Марха от моста автодороги Мирный – Айхал до гидроствора 3 (см. рис. 1), заложенного в 2,5 км ниже устья р. Далдын. На маршруте выполнены гидрометрические работы, отбор проб воды, почв, донных отложений, дозиметрические измерения дозиметром ДРГ-01Т1 и определение географических координат с помощью навигатора GPS Garmin 76. Пробы почвы и донных отложений вблизи объектов ПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл» отбирали с учетом их расположения и рельефа водосборной площади. На выбранных участках проводили гидрометрические работы, которые включали разбивку магистрали, привязку уровня воды к рабочему реперу с условной отметкой, измерение ширины, глубины, скорости течения, расхода воды реки, отбор проб воды, поперечников с захватом поймы. Плановой и высотной основой инструментальной съемки на местности служит магистральная линия, которая разбивается параллельно линии уреза воды, и поперечный профиль по всей ширине реки и поймы, который совмещается с гидроствором. Азимуты направлений магистрали и поперечника определяли с помощью теодолита. На коренном берегу по линии гидроствора, немного выше магистральной линии устанавливался репер, определено место постоянного начала. В поперечном профиле отбирали пробы почвы, речных наносов и отложений, начиная с коренного берега и заканчивая низкой поймой. Пробы донных отложений отбирали по магистрали или в продольном профиле, параллельном ему.

Анализы на содержание радионуклидов выполнены в аккредитованной лаборатории радиационного контроля МИФИ гамма-спектрометрическим методом на низкофоновом гамма-спектрометре Э-015 МИФИ с полупроводниковыми детекторами из особо чистого германия (HPGe) с бериллиевым окном. По результатам измерений определены активности или сделана их верхняя оценка для следующих техногенных ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{125}Sb , ^{152}Eu , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{60}Co и естественных ^{210}Pb , ^7Be , ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{235}U , ^{238}U радионуклидов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Марха относится к рекам восточно-сибирского типа с хорошо выраженным весенне-летним половодьем, летне-осенней меженью, прерываемой

дождевыми паводками и прекращением стока в зимний период из-за замерзания реки в районе перекатов. По типу питания Марха относится к рекам смешанного, преимущественно снегового питания. Среднегодовые значения параметров стока приняты следующими: модуль стока $M_0 = 5,93 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, $C_v = 0,27$; $C = 2C_v$. Во время половодий, ливневых дождей вода Мархи становится мутной, до 170 г/м^3 от транспортируемых взвесей. Наибольшая часть (до 99% от годового стока) взвешенных наносов р. Марха приходится на весенний сезон (май-июнь), причем высокий процент прохождения наносов весной наблюдается в многоводные годы. Донные осадки мы рассматриваем как составляющие взвешенной и влекомой части твердого стока, заключающего в своем составе и самые тяжелые, и самые легкие минеральные частички и их агрегаты размером менее 1–2 мм (Ноговицын, 1985).

Плотность загрязнения радиоцезием пойменной почвы в поперечном профиле р. Марха на объекте «Кратон-3» и в гидростворах приведена в табл. 1.

Плотность загрязнения почвы в поперечном профиле правобережья Мархи на объекте «Кратон-3» превышает уровни глобального загрязнения, составляющие в данном регионе около 1 кБк/м^2 , в том числе в пойменной ее части, до 70 раз. Этот факт показывает, что радиоцезий в составе твердого стока продолжает поступать в реку. Плотность загрязнения пойменной почвы в гидростворе 3 (в 2 км ниже устья р. Далдын; рис. 2), отличается высоким содержанием радиоцезия.

Содержание радиоцезия в профиле почвы на разных уровнях поймы в гидростворе 3 показано в табл. 2, из которой видно, что распределение радиоцезия в пойменной почве неравномерно, так на отметке «0» высокой поймы, где мощность аллювиальных отложений составляет 25 см, содержание ^{137}Cs максимально в интервале глубин от 10 до 15 см.

На рис. 3 показано распределение ^{137}Cs и ^{210}Pb в профиле на отметке «0» высокой поймы.

По содержанию ^{210}Pb в отложениях речных наносов в аллювиальной почве можно оценить возраст отложений и скорость поступления ^{137}Cs . Для решения этой задачи был применен метод датирования донных осадков по неравновесному ^{210}Pb .

Этот метод основан на нарушении радиоактивного равновесия в ряду ^{238}U (^{226}Ra) с дочерним

Таблица 1. Плотность загрязнения ^{137}Cs пойменной почвы р. Марха, кБк/м^2

Table 1. The ^{137}Cs contamination density in alluvial soils of the Markha River

Место отбора	ПЯВ «Кратон-3»	Гидроствор 1	Гидроствор 2	Гидроствор 3
Надпойменная терраса	43,76	0,75	1,24	1,21
Высокая пойма	3,07–72,96	0,05–0,15	0,16–0,46	0,17–2,12
Низкая пойма	10,74	0,07	0,16	0,12

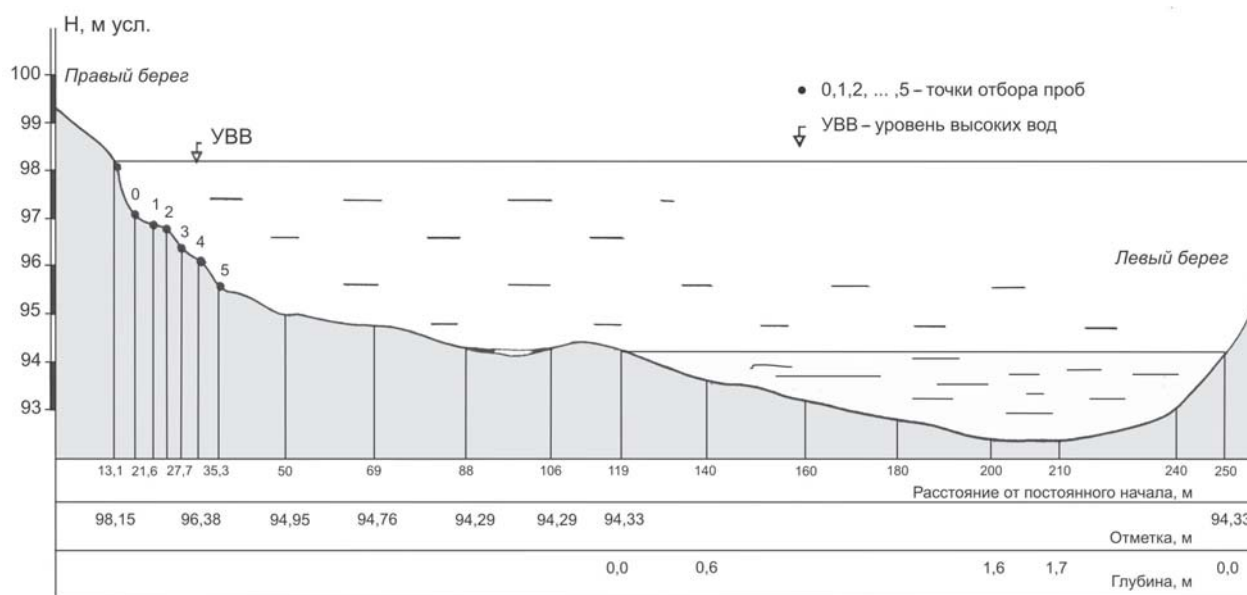


Рис. 2. Гидроствор 3 на р. Марха в 2 км ниже устья р. Далдын

Fig. 2. The Markha R. section line 3, 2 km downstream of the Daldyn R. mouth

Таблица 2. Распределение ¹³⁷Cs в гидростворе 3 поймы р. Марха

Table 2. The ¹³⁷Cs distribution in section line 3 in the Markha R. flood plain area

Мощность, см	Удельная активность ¹³⁷ Cs, Бк/кг						
	Почва надпойменной террасы с лишайником	Пойменная почва					
		отметка 0	отметка 1	отметка 2	отметка 3	отметка 4	отметка 5
5–0	125,0						
0–5	36,5	3,8	3,2	4,8	2,5	1,9	1,4
5–10	0,8	9,7	*	9,8	2,9	2,1	1,2
10–15	–	46,0		*	*	2,9	*
15–20	–	4,4				*	
20–25	–	0,9					
		*					

*А-1 – погребенный гумусовый горизонт. Тире и пустота означают, что в данном интервале почвенного профиля пробы не отбирались; почва надпойменной террасы была отобрана на глубину 10 см в интервалах 0–5 и 5–10 см, здесь на поверхности разреза 5–0 см отобрана проба лишайника.

²¹⁰Pb, который с глобальными выпадениями из атмосферы попадает в водоемы и накапливается в донных осадках. Определяя содержание ²¹⁰Pb в том или ином горизонте, можно установить возраст осадка, если соблюдаются следующие предположения: 1 – поступление ²¹⁰Pb в отложения постоянно; 2 – скорость накопления отложений не меняется в пределах рассматриваемого промежутка времени; 3 – после отложения речных наносов миграция ²¹⁰Pb не происходит. Будем считать, что 1-е и 3-е предположения для наших условий выполняются. Поступление ²¹⁰Pb в

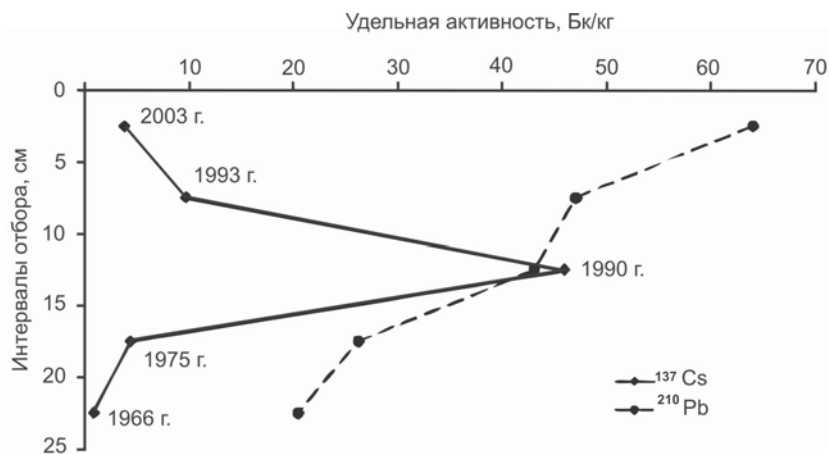


Рис. 3. Распределение ¹³⁷Cs и ²¹⁰Pb в пойменной почве р. Марха

Fig. 3. Distribution of ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb isotopes in the alluvial soils of the Markha River

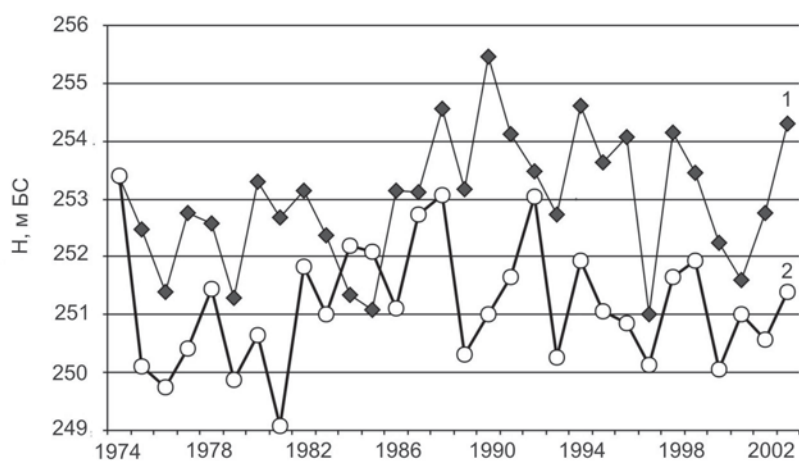


Рис. 4. Наивысшие уровни весеннего половодья и дождевых паводков на р. Марха в 1 км ниже устья р. Далдын: 1 – весенние паводки; 2 – дождевые

Fig. 4. Top levels of the spring high water and pluvial floods in the Markha River, 1 km downstream of the Daldyn R. mouth: 1 – spring high water; 2 – pluvial floods

отложения имеет сезонный цикл и зависит от количества осадков, среднегодовое количество которого можно принять за постоянную величину. Скорость же накопления отложений зависит от закономерности транспорта взвешенных частиц и донных отложений, от динамики гидравлических характеристик потока воды, от уровней паводков и др. Поэтому второе предположение, возможно, не соблюдается, но для получения хотя бы при-

ликой (рис. 4). Результат согласуется с оценкой возраста и динамики поступления ^{137}Cs в донные осадки р. Марха, полученной выше. В горизонтах 10–15 и 15–20 см рассматриваемого профиля содержание ^{241}Am составляет соответственно $0,6 \pm 0,3$ и $0,4 \pm 0,3$ Бк/кг, в остальных менее МДА. Содержание стронция-90 и плутония не определялось. В ходе исследований в окрестностях пос. Энердэк в высокой пойме р. Марха был заложен почвенный разрез, результаты анализа содержания ^{137}Cs в котором приведены на рис. 5, где отчетливо просматривается наличие максимума в горизонте 17–25 см, что свидетельствует о погребении здесь загрязненных радионуклидами речных аллювиальных отложений. Нежилой пос. Энердэк находится примерно в 600 км ниже ПЯВ «Кратон-3».

Для сравнения на рис. 5 приведены результаты анализа содержания радиоцезия в почвенном разрезе высокой поймы левобережья р. Сытыкан, отобранной ниже водохранилища недалеко от пос. Полярный. Правый приток р. Далдын – р. Сытыкан находится выше по течению относительно ПЯВ «Кристалл». Характер распределения радиоцезия в почвенном разрезе р. Сытыкан отличается от распределения в пойменной почве в районе пос. Энердэк несколько повышенным его содержанием до глубины 15 см и отсутствием в нижележащих (15–30 см) горизонтах.

Повышенное содержание ^{137}Cs в близповерхностном горизонте в пойме р. Сытыкан закономерно и, возможно, обусловлено поверхностным загрязнением от ПЯВ «Кристалл». Отсутствие же его в нижележащих горизонтах подтверждает, что источником загрязнения пойменных почв в районе гидроствора 3 и пос. Энердэк являются про-

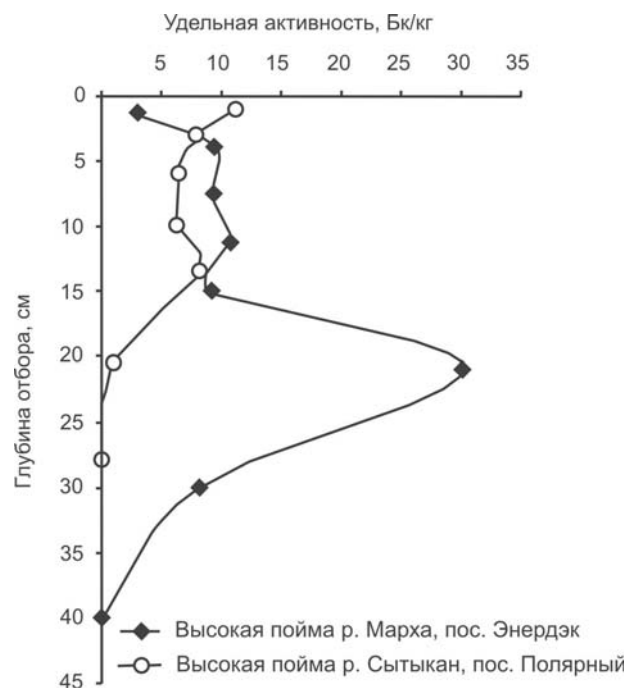


Рис. 5. Распределение ^{137}Cs в профиле пойменной почвы р. Марха в районе пос. Энердэк

Fig. 5. Distribution of ^{137}Cs in the alluvial soils section of the Markha River, in Enerdek vicinities

дукты деления ПЯВ «Кратон-3» и «Кристалл», а не глобальные выпадения.

Из статистического анализа содержания ^{137}Cs в 50 пробах донных отложений из р. Марха их фоновые значения определены как не превышающие 2 Бк/кг. Наибольшие содержания ^{137}Cs обнаружены в донных отложениях у основания саркофага ПЯВ «Кристалл» – 1273 Бк/кг, в этой пробе также обнаружены ^{241}Am – 510, ^{60}Co – 148, ^{152}Eu – 6,4, ^{154}Eu – 5,6, ^{155}Eu – 21,0 Бк/кг. На объекте ПЯВ «Кратон-3» наибольшее содержание ^{137}Cs обнаружено в донных отложениях в устье руч. Безымянный – 9,9 Бк/кг, которое остается существенным на расстоянии до 885 м вниз по течению Мархи и далее плавно уменьшается. В заливе р. Марха (гидроствор 2), расположенном в 92,3 км от ПЯВ «Кратон-3», максимальное содержание ^{137}Cs в донных отложениях достигает 16 Бк/кг, что превышает фоновые уровни для речных отложений в 8 раз (рис. 6).

ВЫВОДЫ

Полученные результаты показывают, что наиболее интенсивное загрязнение рр. Далдын и Марха произошло на следующий год после проведения ПЯВ «Кристалл» и в год проведения ПЯВ «Кратон-3»; радиоактивные продукты поступали в реку в составе твердого и жидкого стока поверхностных вод и загрязнили пойму реки на значительном расстоянии.

После такого залпового поступления радионуклидов в реку в последующие годы поступление их из загрязненных территорий в речную сеть минимизировалось.

Работа выполнена в рамках программы «Охрана окружающей среды Республики Саха (Якутия) на 2003–2006 годы».

ЛИТЕРАТУРА

Бурцев И. С., Степанова С. К., Колодезникова Е. Н. Экономическая оценка экологических последствий подземных ядерных взрывов мирного назначения в аспекте устойчивого развития. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000. – С. 101.

Киселев В. В., Бурцев И. С. Ликвидация последствий аварийных подземных ядерных взрывов в зоне многолетней мерзлоты. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2000. – 148 с.

Поступила в редакцию 19.12.2007 г.

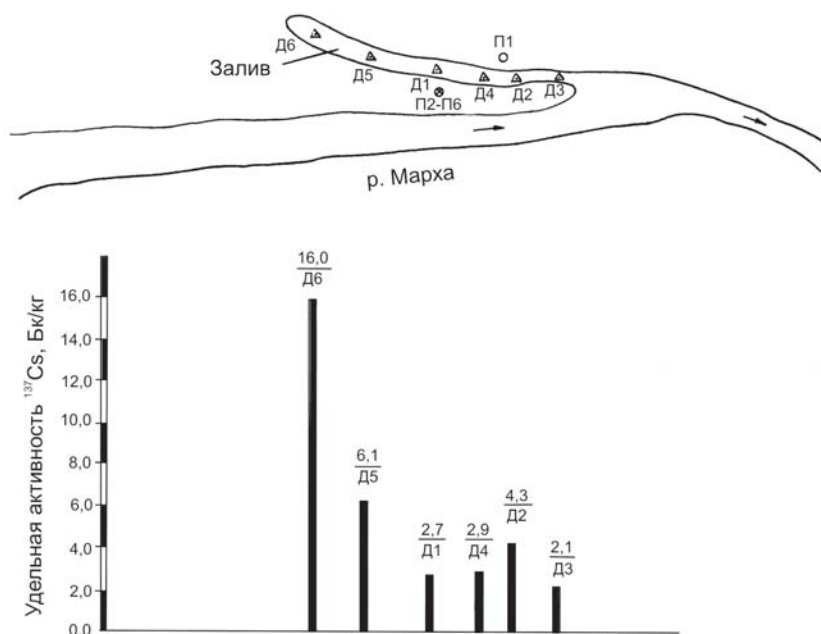


Рис. 6. Схема залива на участке 2 на р. Марха, места отбора проб донных отложений Д1–Д6 и содержание ^{137}Cs в них: П1–П6 – пойменные почвы

Fig. 6. Schematized flooding event for area 2 of the Markha River; Д1–Д6 bottom sediments sampling sites and their ^{137}Cs contents: П1–П6 – alluvial soils

Ноговицын Д. Д. Водные ресурсы Якутской АССР и их использование. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО АН СССР, 1985. – 124 с.

Собакин П. И., Чевычелов А. П., Молчанова И. В. Миграция радионуклидов в почвенно-растительном покрове на территории подземного ядерного взрыва в Республике Саха (Якутия) // Дефектоскопия. – 2004а. – № 9. – С. 85–91.

Собакин П. И., Чевычелов А. П., Уиницкий В. Е. Радиационная обстановка на территории Якутии // Радиация. биология. Радиоэкология. – 2004б. – Т. 44, № 3. – С. 283–288.

Уиницкий В. Е., Луковцева А. А., Степанов В. Е., Собакин П. И. Об уровнях радиоактивного загрязнения пойменных почв близ подземного ядерного взрыва «Кратон-3» // Сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф. «Ресурсы недр России: экономика и геополитика, геотехнологии и геоэкология, литосфера и геотехника» МНИЦ ПГСХА. – Пенза, 2003. – С. 147–149.

Gedeonov A. D., Petrov E. R., Alexeev V. G. et al. Residual radioactive contamination at the peaceful underground nuclear explosion sites «Craton-3» and «Crystal» in the Republic of Sakha (Yakutia) // Journal of Environmental Radioactivity. – 2002. – Vol. 60. – P. 221–234.

Ramzaev V., Golikov V., Mishine A. et al. Present Radioecological Status of the «Craton-3» Accidental Underground Nuclear Explosion Site and its Adjacent Territories (Republic of Sakha, Russia) / 11th Intern. Congress of the International Radiation Protection Association, 23–28 May. – Madrid, Spain, 2004. – P. 1–9.

THE LEVELS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION IN THE MARKHA RIVER FLOOD-PLAIN AREA (THE VILUI R. AREA)

V. E. Uschnitski, D. D. Nogovitsyn, P. I. Sobakin, T. V. Argunova

The «Crystal» and «Craton-3» subsurface nuclear explosions were conducted for study purposes in Mirny area, the territory of Yakutia (Sakha), and, as a result, the flood areas of the Daldyn and Markha rivers were contaminated with the nuclear fission products. Studies conducted there were aimed at determination of the character and levels of radioactive isotope contamination of the Markha R. flood-plain environments. The study areas were surveyed and soil samples taken there. The reported ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{241}Am contents of alluvial soils and bottom sediments from the Markha River, which were rather far remote from the «Crystal» and «Craton-3» sites, were greater than the world-wide radioactive fall-outs throughout the investigated territory.

Key words: alluvial soils, soil section, genetic horizons, soil horizons, bottom sediments, subsurface nuclear explosion, world-wide fall-outs, radioactive isotopes, gamma spectrometric analysis, specific activity, radioactive isotope contamination density, hydrology, instrumental river survey, section line.