

УДК 550.378: 627.157

РАДИОНУКЛИДЫ ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs В ПОЧВАХ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТЕРРИТОРИИ КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ» (АМУРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.Н. Балыкин, А.В. Пузанов, С.Н. Балыкин, А.В. Салтыков, Т.А. Рождественская
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: balykindn@yandex.ru

Приведены результаты радиоэкологических исследований на территории космодрома «Восточный» на этапе строительства 2012-2013 гг., а также в близлежащих к космодрому населенных пунктах. Установлены уровни удельной активности естественных (уран 238, торий 232, калий 40) и искусственных (цезий 137) радионуклидов в почвах и донных отложениях. В населенных пунктах Циалковский, Черновка, Свободный, Шимановск, Малиновка, Чагоян выполнены замеры мощности экспозиционной дозы (гамма фон).

Ключевые слова: радионуклиды, почвенный покров, донные отложения, Амурская область.

DOI: 10.24411/2410-1192-2019-15411
Дата поступления 27.08.2019

Территория позиционного района объектов космодрома «Восточный» находится вблизи закрытого административно-территориального образования (ЗАТО) г. Циалковский, в центре восточной части Амурско-Зейской равнины [1], расположенной в пределах Амуро-Сахалинской физико-географической страны, Амуро-Зейской провинции, которые локализованы в восточной части Евразии и приурочены к Амурско-Суннэнь-Хэцзянскому массиву. Удаленность космодрома от акватории Тихого океана (Охотское море) составляет 936,16 км, от акватории Северного Ледовитого океана – 2886,95 км. Исследуемая территория расположена на обширной водораздельной части Амурско-Зейского междуречья (в бассейне р. Зея), представленного равнинной, слабовсхолмленной, сильно расчлененной равниной, с запада и востока ограниченной руслами крупных рек – Амура и Зеи. Наиболее удаленный от русла реки Зеи участок территории космодрома находится в 32,4 км, самый близкий к руслу – в 8,5 км. Абсолютные высоты территории варьируют от 166 до 272 м

[1]. Климат резко-континентальный с чертами муссонности умеренного климатического пояса, что определяет гумидность и локализацию в пределах области остепененных смешанных лесов бореальной зоны. Почвенный покров образован типами и разновидностями почв, характерных для южной части лесной зоны.

Целью работы была эколого-геохимическая оценка компонентов наземных и водных экосистем космодрома «Восточный» на этапе его строительства. В ходе экспедиционных работ в 2012-2013 гг. на территории космодрома «Восточный» были заложены 26 полнопрофильных почвенных разрезов (рис.).

Структуру почвенного покрова образуют следующие подтипы почв: подбуры оподзоленные, иллювиально-железистые и глеевые, мерзлотно-таежные перегнойно-глеевые, мерзлотно-болотные торфянисто-глеевые и перегнойно-глеевые, аллювиальные перегнойные и примитивные перегнойные почвы. Значительная часть естественной радиоактивности почв связана с ра-

диоизотопами, которые образуют три радиоактивных семейства: урана (родоначальник ^{238}U ; период полураспада $T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет), актиния (родоначальник ^{235}U ; $T_{1/2} = 7,1 \cdot 10^8$ лет) и тория (родоначальник ^{232}Th ; $T_{1/2} = 1,4 \cdot 10^{10}$ лет). Из всех изотопов урана ^{238}U составляет 99,28 %. Существенный вклад в естественную радиоактивность почв вносит долгоживущий радиоактивный изотоп ^{40}K ($T_{1/2} = 1,3 \cdot 10^9$ лет) [2-3].

Калий-40 ($T_{1/2} = 1,4$ млрд лет) встречается в виде трех изотопов: калий-39, калий-40 и калий-41. Из них радиоактивен только калий-40. Соотношение изотопов в составе природного калия соответствует: калий-39 – 93,08 %, калий-41 – 6,91 %, калий-40 – 0,01 %. При этом усваивается любым организмом без изменения изотопного состава [3].

Прямое влияние на удельную активность естественных радионуклидов (ЕРЭ) в почвах оказывает состав материнских пород [4-8]. Естественные ра-

дионуклиды (ЕРН) в почвах территории космодрома «Восточный» и прилегающих территорий определяли рентгенофлюоресцентным методом в ИГМ СО РАН (Новосибирск). Уровни удельной активности радионуклидов урана и тория в почвах территории строительства космодрома «Восточный» и прилегающих территорий в среднем соответствуют фоновым значениям, при этом отмечается существенное варьирование их удельной активности в исследованных почвах (табл. 1). Наиболее высокие уровни содержания радионуклидов характерны для перегнойных и глеевых горизонтов мерзлотно-болотных почв территории космодрома, что связано со значительным количеством органического вещества и тяжелым гранулометрическим составом почв. Соотношение тория и урана соответствует нормальным значениям для почв незагрязненных территорий и, в среднем, составляет 4,0-4,5.

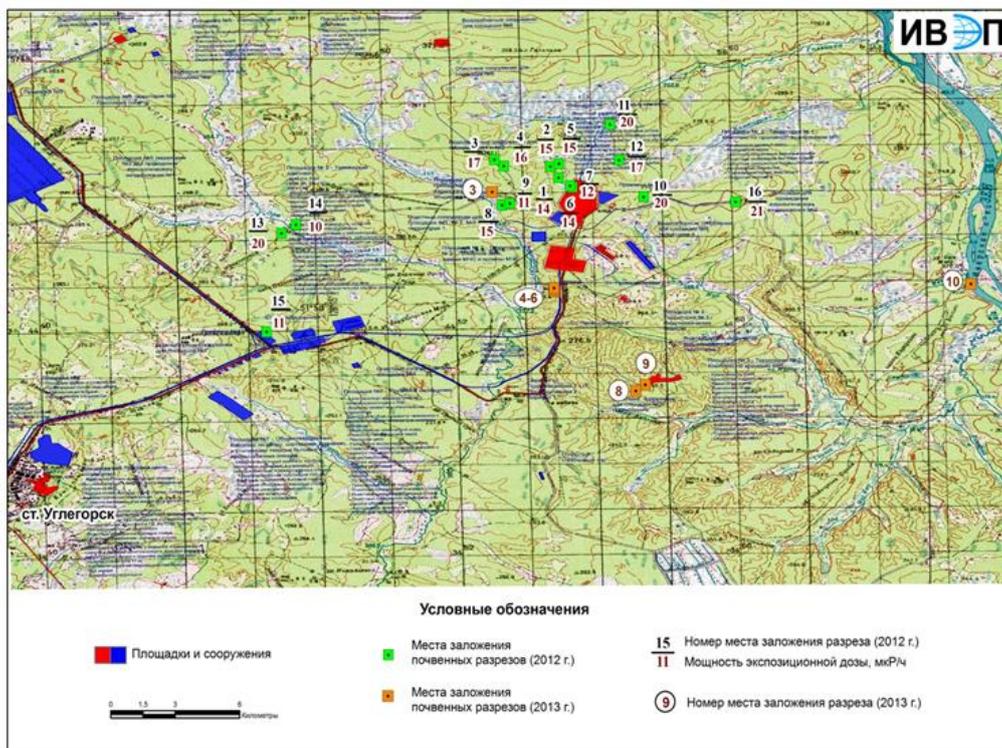


Рис. Площадки мониторинга на территории космодрома «Восточный»

Таблица 1

Содержание естественных радионуклидов и их удельная активность в почвах космодрома «Восточный» и прилегающих территорий

U, мг/кг	Th, мг/кг	K, %	²³⁸ U, Бк/кг	²³² Th, Бк/кг	⁴⁰ K, Бк/кг
<i>Буроземы оподзоленные $x_{min}-x_{max}/x \pm S$, n-51</i>					
<u>0,9-5,3</u>	<u>1,0-12,4</u>	<u>0,8-9,2</u>	<u>11,3-66,7</u>	<u>4,0-50,4</u>	<u>250,4-2882,7</u>
2,3±0,2	6,9±0,4	3,2±0,2	29,3±2,1	28,2±1,5	988,0±70,6
<i>Подбуры иллювиально-железистые $x_{min}-x_{max}/x \pm S$, n-10</i>					
<u>0,8-3,4</u>	<u>2,6-16,7</u>	<u>1,1-5,9</u>	<u>10,1-42,8</u>	<u>10,6-68,0</u>	<u>331,8-1856,1</u>
2,0±0,3	7,8±1,3	2,6±0,5	24,6±3,2	31,7±5,5	811,3±143,7
<i>Мерзлотно-болотные $x_{min}-x_{max}/x \pm S$, n-13</i>					
<u>1,0-7,3</u>	<u>5,4-24,0</u>	<u>1,4-6,2</u>	<u>12,6-92,0</u>	<u>22,0-97,7</u>	<u>441,3-1940,6</u>
2,5±0,5	8,7±1,3	3,2±0,4	31,2±6,5	35,5±5,4	1010,3±138,8
<i>Кларки почв [11]</i>			<i>мировой почвенный фон [12]</i>		
5	6	1,36	32	32	450

Примечание: x – среднее арифметическое, S – стандартное отклонение, $x_{min}-x_{max}$ – пределы колебаний.

Характерной особенностью всех почв, независимо от типа, исследуемой территории является повышенные уровни содержания калия, что связано, по видимому, с минералогическим составом аллювиальных отложений, которые являются преобладающими почвообразующими породами в пределах исследуемой территории. Как отмечается в работе Е.А. Жариковой [9] в целом для аллювиальных почв Зейско-Бурейской и Приханкайской равнин такие уровни являются типичными. По данным В.В. Никольской [10] среди легких минералов во фракции 0,01-0,25 аллювиальных отложений Зейско-Бурейской равнины преобладают кварц (>50%), калиевые полевые шпаты, присутствуют биотит и плагиоклазы. В тяжелой фракции преобладают роговая обманка и эпидот, значительное количество ильменита, биотита, мусковита и хлорита.

Одним из приоритетных индикаторов былых ядерных испытаний является ¹³⁷Cs. Это продукт деления тяжелых ядер и по степени радиотоксичности относится к группе В (среднетоксичные радионуклиды). Исключительно высокая подвижность цезия-137 в биохимических цепочках и длительность пребывания в биосфере обуславливают повышенное внимание к исследованию поведения радионуклида в природных экосистемах [2].

Проведенные исследования показали, что удельная активность радиоцезия в почвах территории космодрома и прилегающих территорий значительно варьирует – пределы колебаний удельной активности в гумусовых горизонтах почв составляют от <1 до 120 Бк/кг (1-80 мКи/км²), что связано с неоднородностью глобальных выпадений радионуклида. Максимумы загрязнения отмечаются в почвах аккумулятивных позиций ландшафтов (поймы рек). В лугово-болотных почвах удельная активность цезия составляет 96-120 Бк/кг (64-80 мКи/км²). Плотность загрязнения почв территории космодрома ¹³⁷Cs, в основном, находится в пределах фона. В настоящее время уровень глобального загрязнения почв радиоцезием, в среднем, по РФ составляет 2,4 кБк/м² (64,8 мКи/км²) [13]. Средние уровни удельной активности ЕРН в огородных почвах, техноземах и грунтах сопоставимы с фоновыми почвами территории космодрома и прилегающих территорий. В техноземах ШПУ и грунтах дорог цезий 137 не обнаружен (табл. 2-3).

Радионуклиды ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs в донных отложениях поверхностных вод территории космодрома «Восточный»

Поступление радионуклидов в речную систему с твердым стоком может происходить в результате эрозионных

процессов. Донные отложения представляют сложную многокомпонентную систему, состоящую главным образом из органической (аморфной) и минеральной составляющих. Аморфная компонента включает в себя органоминеральные комплексы, фульво- и гуминовые кислоты, аморфные оксиды железа и кремния. Минеральная составляющая представлена смесью минералов. С аморфной составляющей донных отложений связывают их основные сорбционные свойства и способность к накоплению вредных веществ [14].

Сорбция радионуклидов на переносимых рекой взвешях и ранее отложившихся частицах в верхних слоях осадков является основным доминирующим фактором миграции и накопления радиоизотопов в донных отложениях [15]. Сорбционные свойства донных отложений определяются, главным образом, их вещественным и гранулометрическим составом [16]. Состав донных отложений и распределение в них радионуклидов позволяют дать прогноз радиационного состояния контролируемого объекта при проведении радиоэкологического мониторинга окружающей среды.

Донные отложения основных водотоков на территории космодрома «Восточный» можно отнести к трем типам: пески, илистые пески, песчаный ил. В большинстве случаев это галечниково-песчаные отложения. Содержание илистой фракции незначительно и составляет 1-9 %, что указывает на их низкую адсорбционную способность (табл. 4). Тем не менее, уровни удельной активности урана и тория в донных отложениях хорошо коррелируют с содержанием ила и органического вещества ($r = + 0,7$ и $+ 0,8$, соответственно). Например, в донных отложениях рек Гальчиха, Иур и Пёра их уровень удельной активности относительно выше, чем в других водотоках за счет относительно более высокого содержания ила и органического вещества.

В целом, оценивая уровни удельной активности радионуклидов в донных отложениях основных водотоков космодрома, необходимо отметить, что их концентрации гораздо ниже, чем в почвах водосборной поверхности. Исключение составляет калий 40, удельная активность которого сопоставима с фоновыми почвами. Техногенный радионуклид Cs^{137} не обнаружен ни в одном из исследованных водотоков.

Общая оценка мощности экспозиционной дозы (гамма-фон) для территории космодрома «Восточный» и прилегающих территорий

Гамма-фон на уровне одного метра от земной поверхности складывается из естественного гамма-излучения горных пород, приземного воздуха и космического излучения. Некоторая доля в гамма-фон вносится также от гамма-излучения радиоизотопов искусственного происхождения.

Таблица 2

Средняя удельная активность ЕРН в огородных почвах населенных пунктов, Бк/кг

Населенный пункт	$^{238}\text{U}(\text{Ra})$	^{232}Th	^{40}K
Черновка	25,52	25,44	737,90
Глухари	29,82	28,49	620,78
Чагоян	21,92	30,93	535,86
Шимановск	31,75	28,49	696,74
Малиновка	27,72	25,54	600,96
Свободный	23,69	31,18	573,42
Углегорск	24,78	28,63	663,56

Таблица 3

Средняя удельная активность ЕРН в техноземах ШПУ, грунтах дорог территории Космодрома, Бк/кг

Место отбора проб	$^{238}\text{U}(\text{Ra})$	^{232}Th	^{40}K
Техноземы ШПУ	25,52	25,44	737,90
Грунты дорог	29,82	28,49	620,78
<i>Фоновые почвы</i>			
Буроземы	29,3	28,2	988,0
Подбуры	24,6	31,7	811,3
Мерзлотно-болотные	31,2	35,5	1010,3

Таблица 4

Физико-химические свойства и радионуклидный состав донных отложений основных водотоков на территории космодрома «Восточный»

Водоток	pH	C _{орг.} %	Ил, %	²³⁸ U(Ra), Бк/кг	²³² Th, Бк/кг	⁴⁰ K, Бк/кг
Галичиха	4,9	3,55	9,2	17,1	28,3	578,0
Иур	6,7	6,51	7,6	20,1	38,9	660,5
Иверский	6,1	0,93	4,0	6,8	10,9	742,9
Охотничий	6,2	1,40	7,3	2,7	7,9	944,7
Ора	6,1	0,41	3,8	7,0	9,8	814,1
Ора	6,3	0,06	0,8	5,1	9,4	771,8
Золотой	6,0	0,20	1,8	3,4	4,0	864,2
Серебряный	6,0	0,35	2,3	4,4	7,1	790,3
Медный	6,5	0,50	2,9	4,2	5,5	873,9
Пёра	4,2	0,76	6,9	11,9	14,3	793,7
Пёра	6,0	0,12	1,6	3,4	5,8	702,0
Джатва	6,0	0,12	3,5	8,5	8,4	820,0

Мощность экспозиционной дозы измеряли с помощью дозиметра-радиометра МКС-01СА1М на территории космодрома и в крупных населенных пунктах: Углегорск, Черновка, Свободный, Шимановск, Малиновка, Чагоян. Было установлено, что уровень гамма-фона в населенных пунктах варьирует от 8 до 22 мкР/ч.

Относительную степень радиационной безопасности населения характеризуют следующие значения эффективных доз от природных источников излучения [17]: менее 2 мЗв/год (0,23 мкЗв/ч, или 23 мкР/ч) – облучение не превыша-

ет средних значений доз населения страны от природных источников излучения; от 2 до 5 мЗв/год (от 0,23 мкЗв/ч, или 23 мкР/ч, до 0,57 мкЗв/ч, 57 мкР/ч) – повышенное облучение; более 5 мЗв/год (0,57 мкЗв/ч, или 57 мкР/ч) – высокое облучение.

Таким образом, уровень гамма-фона территории космодрома «Восточный» и на прилегающих территориях, в населенных пунктах, в целом, не превышает средних значений доз радиоактивного излучения, получаемых населением страны от природных источников.

Список литературы

1. Ландшафты территории космодрома «Восточный» и их антропогенная трансформация / А.В. Пузанов, В.В. Самброс, И.А. Алексеев, Д.М. Безматерных; ИВЭП СО РАН. – Барнаул, 2018. – 227 с.
2. Радиобиология. – М.: Колос, 1999. – 384с.
3. Енохович А.С. Справочник по физике. – М.: Просвещение, 1978. – 415с.
4. Баранов В.И., Морозова Н.Г. и др. Геохимия некоторых естественных радиоактивных элементов в почвах // Почвоведение. – 1963. – № 8. – С. 11-20.
5. Почвоведение Ч. 1. Почва и почвообразование / Под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.
6. Дричко В.Ф., Крисюк Б.Э. и др. Частотное распределение концентраций радия-226, тория-228 и калия-40 в различных почвах // Почвоведение. – 1977. – № 9. – С. 75-80.
7. Алексахин Р.М., Архипов Н.П., Бархударов Р.М. и др. Тяжелые естественные радионуклиды в биосфере: Миграция и биологическое действие на популяции и биогеоценозы. – М.: Наука, 1990. – 368с.
8. Титаева Н.А. Техногенная геохимия урана, тория и радия // Проблемы радиогеохимии и космологии. – М.: Наука, 1991.
9. Жарикова Е.А. Калий в пойменных почвах Приамурья // Земледелие, почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2(19). – С. 46-51.

10. Никольская В.В. Физико-географические исследования в бассейне верхнего и среднего Амура в связи с работами по отысканию путей борьбы с наводнениями на Зейско-Буреинской равнине // Зейско-Буреинская равнина. – М.: АН СССР, 1958. – С. 85-133.
11. Алексеенко В. А. Экологическая. – М.: Логос, 2000. – 627с.
12. Тихомиров, Ф.А. Теоретические и практические вопросы охраны почвенно-растительного покрова от радиоактивного загрязнения // Научн. докл. высшей школы. Биологические науки. – 1980. – № 4. – С. 18-28.
13. Сахаров В. К. Радиоэкология: учебн. – СПб: Изд-во «Лань», 2006. – 320 с.
14. Шатохин А.М., Красоткин В.А. и др. Распределение ^{137}Cs и естественных радионуклидов по типам донных отложений в акватории Московского региона // АНРИ. – 2007. – № 2. – С. 44-48.
15. Сухоруков Ф.В., Дегерменджи А.Г., Белолипецкий В.И. и др. Закономерности распределения и миграции радионуклидов в долине р. Енисей. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2004. – 286 с.
16. Иванов А.Ю. Геохимия U и Th в донных отложениях непроточных водоемов и озер юга Томской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: матер. III междунар. конф. – Томск: STT, 2009. – С. 209-211.
17. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности СП 2.6.1. 799-99.

References

1. Landshafty territorii kosmodroma «Vostochny» i ikh antropogennaya transformatsiya / A.V. Puzanov, V.V. Sambros, I.A. Alekseyev, D M. Bezmaternykh; IVEP SO RAN. – Barnaul, 2018. – 227 s.
2. Radiobiologiya. – М.: Kolos, 1999. – 384s.
3. Enokhovich A.S. Spravochnik po fizike. – М.: Prosveshcheniye, 1978. – 415s.
4. Baranov V.I., Morozova N.G. i dr. Geokhimiya nekotorykh estestvennykh radioaktivnykh elementov v pochvakh // Pochvovedeniye. – 1963. – № 8. – S. 11-20.
5. Pochvovedeniye Ch. 1. Pochva i pochvoobrazovaniye / Pod red. V.A. Kovdy, B.G. Rozanova. – М.: Vyssh. shk., 1988. – 400 s.
6. Drichko V.F., Krisyuk B.E. i dr. Chastotnoye raspredeleniye kontsentratsy radiya-226, toriya-228 i kaliya-40 v razlichnykh pochvakh // Pochvovedeniye. – 1977. – № 9. – S. 75-80.
7. Aleksakhin R.M., Arkhipov N.P., Barkhudarov R.M. i dr. Tyazhelye estestvennyye radionuklidy v biosfere: Migratsiya i biologicheskoye deystviye na populyatsii i biogeotsenozy. – М.: Nauka, 1990. – 368s.
8. Titayeva N.A. Tekhnogennaya geokhimiya urana, toriya i radiya // Problemy radiogeokhimii i kosmologii. – М.: Nauka, 1991.
9. Zharikova Ye.A. Kaly v poymennykh pochvakh Priamurya // Zemledeliye, pochvovedeniye i agrokhimiya. – 2010. – № 2(19). – С. 46-51.
10. Nikolskaya V.V. Fiziko-geograficheskiye issledovaniya v bassejne verkhnego i srednego Amura v svyazi s rabotami po otyskaniyu putey borby s navodneniyami na Zeysko-Bureinskoy ravnine // Zeysko-Bureinskaya ravnina. – М.: AN SSSR, 1958. – S. 85-133.
11. Alekseyenko V. A. Ekologicheskaya. – М.: Logos, 2000. – 627s.
12. Tikhomirov, F.A. Teoreticheskiye i prakticheskiye voprosy okhrany pochvenno-rastitelnogo pokrova ot radioaktivnogo zagryazneniya // Nauchn. dokl. vysshey shkoly. Biologicheskiye nauki. – 1980. – № 4. – S. 18-28.
13. Sakharov V. K. Radioekologiya: uchebn. – SPb: Izd-vo «Lan», 2006. – 320 s.
14. Shatokhin A.M., Krasotkin V.A. i dr. Raspredeleniye ^{137}Cs i estestvennykh radionuklidov po tipam donnykh otlozheny v akvatorii Moskovskogo regiona // ANRI. – 2007. – № 2. – S. 44-48.

15. Sukhorukov F.V., Degermendzhi A.G., Belolipetsky V.I. i dr. Zakonomernosti raspredeleniya i migratsii radionuklidov v doline r. Yenisey. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, filial «Geo», 2004. – 286 s.

16. Ivanov A.Yu. Geokhimiya U i Th v donnykh otlozheniyakh neprotochnykh vodoyemov i ozer yuga Tomskoy oblasti // Radioaktivnost i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka: mater. III mezhdunar. konf. – Tomsk: STT, 2009. – S. 209-211.

17. Osnovnye sanitarnye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti SP 2.6.1. 799-99.

RADIONUCLIDES ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs IN SOIL AND ALLUVIAL

SEDIMENTS OF THE SPACEPORT TERRITORY

(SPACE STARTING COMPLEX) «VOSTOCHNY» (AMUR REGION)

D.N. Balykin, A.V. Puzanov, S.N. Balykin, A.V. Saltykov, T.A. Rozhdestvenskaya
Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS, Barnaul, E-mail: balykindn@yandex.ru

The results of radioecological studies at the spaceport territory (space starting complex) «Vostochny» during the construction stage 2012-2013, as well as in the settlements nearby the cosmodrome are presented. Specific activity levels have been ascertained for radionuclides of uranium-238, thorium-232, potassium-40 and caesium-137 in soils and alluvial sediments. In settlements Tsialkovsky, Chernivka, Svobodny, Shimanovsk, Malinovka, Chagoyan, measurements of the exposure dose rate (gamma background) were made.

Key words: radionuclides, soil cover, bottom sediments, Amur region.

Received August 27, 2019