

Метод идентификации участков целинных почв с помощью портативного гамма-спектрометра-дозиметра

В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

В базовой модели, которая в настоящее время используется для оценки дозы внешнего облучения человека на территориях, загрязненных в результате Чернобыльской аварии, отправной точкой является мощность дозы гамма-излучения в воздухе на высоте 1 м над поверхностью целинной (ненарушенной) почвы. Теперь, по истечении более 30 лет после выпадений, обнаружение истинно целинных участков земли представляет собой достаточно сложную задачу, так как после аварии многие луга были неоднократно перепажаны и/или рекультивированы. Целью настоящего исследования являлась разработка количественного критерия обнаружения участков целинных почв с помощью переносного гамма-спектрометра-дозиметра. Для достижения этой цели мы провели статистический анализ опубликованных и новых данных по использованию полевой гамма-спектрометрии на радиоактивно-загрязненных территориях Брянской области России и Гомельской области Беларуси в 2015–2018 гг. Обобщенная выборка содержит результаты расшифровки 60 гамма-спектров, записанных на высоте 1 м над почвой на целинных лугах, культивированных землях и в лесах. На основании выполненного анализа предложен количественный дозиметрический критерий для идентификации целинных почв in situ с использованием портативного сцинтилляционного спектрометра-дозиметра. В статье представлен алгоритм поиска целинного участка.

Ключевые слова: целинная почва, ^{137}Cs , мощность амбиентного эквивалента дозы, фактор накопления, in situ.

Введение

В базовой модели, которая в настоящее время используется для оценки дозы внешнего облучения человека на территориях, загрязненных в результате Чернобыльской аварии, отправной точкой является мощность дозы гамма-излучения в воздухе на высоте 1 м над поверхностью целинной (ненарушенной) почвы [1, 2]. В настоящее время учитывают гамма-излучение пары радионуклидов в равновесии $^{137}\text{Cs} + ^{137\text{m}}\text{Ba}$.

В первые годы после аварии поиски открытых целинных участков земли (в основном лугов) для проведения измерений и отбора проб почвы не вызвали особого затруднения. Теперь, по истечении более 30 лет после выпадений, обнаружение истинно целинных участков земли представляет собой достаточно сложную задачу, так как после аварии многие луга были неоднократно перепажаны и/или рекультивированы. В последующем на таких участках с нарушенным верхним слоем почвы мог сформироваться травяной покров, и сами участки по внешнему виду стало невозможно отличить от целинных участков. Кроме того, многие сельскохозяйственные угодья (пахотные поля и культивируемые пастбища) были выведены из оборота и также заросли многолетними травами с образова-

нием достаточно толстого слоя дерна. Поэтому при комплексном дозиметрическом обследовании загрязненных территорий перед исследователем неизбежно возникает вопрос, каким способом найти целинный участок среди множества разнообразных лугов.

Различить целинные и нарушенные луговые почвы можно на основе изучения вертикального распределения ^{137}Cs в почвенном керне [3, 4, 5]. Однако этот прямой метод требует лабораторного оборудования и в полевых условиях может быть использован только при наличии соответствующей мобильной лаборатории. Для оперативного обнаружения целинных почв можно последовательно измерить мощность дозы в воздухе на интересующем нас участке и на соседнем паханом поле или на огороде [5, 6]. Если мощность дозы над интересующим нас участком в 1,5–2 раза выше, чем таковая над культивированной почвой, то такой участок можно предварительно отнести к категории целинных земель. В случае пространственной близости искомого целинного участка к лесу разница между двумя локациями в отношении мощности дозы гамма-излучения в воздухе будет небольшой (на 10–15% в лесу больше [3]), что также можно использовать для предварительной идентификации целинной почвы.

Рамзаев Валерий Павлович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

Но при этом предполагается, что плотность радиоактивного загрязнения этих участков одинакова, что не всегда имеет место.

Более точный оперативный поиск целинной почвы можно выполнить, используя полевой гамма-спектрометр для измерения мощности дозы гамма-излучения в воздухе. В работах [5, 7] было отмечено, что между целинными лугами и культивированными землями имеется существенная разница в величине фактора накопления, который учитывает вклад мощности дозы от рассеянных гамма-квантов в полную мощность дозы от ^{137}Cs . Соответственно, вклад нерассеянного гамма-излучения от распределенного в почве источника ^{137}Cs в полную мощность дозы гамма-излучения на высоте 1 м от земли также будет существенно меняться, что может успешно использоваться в качестве индикатора «целинности» обследуемых участков.

Цель исследования – проверка устойчивости обнаруженных различий в измеряемых спектрах между почвами с ненарушенным поверхностным слоем и культивированными землями.

В качестве прикладной задачи мы рассматривали разработку количественного критерия обнаружения участков целинных почв с помощью переносного гамма-спектрометра-дозиметра.

Материалы и методы

Измерения были выполнены на радиоактивно загрязненной территории юго-западных районов (Новозыбковский, Клиновский, Злынковский, Красногорский) Брянской области в весенне-осенний период в 2015–2016 гг. Они проводились на высоте 1 м над поверхностью земли на целинных участках почвы (15 измерений), на участках, подвергшихся культивации после Чернобыльской аварии (поля и огороды; всего 6 измерений), и в лесах (20 измерений). Возраст лесов превышал 40 лет. Для всех выбранных участков было известно распределение цезия в верхнем 20 см слое почвы [3, 4].

Для измерения мощности AMBIENTного эквивалента дозы в воздухе (МАЭД) применяли портативный спектрометр-дозиметр МКС АТ 6101Д (фирма АТОМТЕХ). Блок детектирования и аналитический блок размещали на алюминиевой треноге таким образом, чтобы расстояние от кристалла NaI(Tl) до поверхности земли было равно 1 м [8]. Спектрометр был дополнительно калиброван для раздельного определения мощности дозы гамма-излучения от терригенных радионуклидов (ADER_{TRN} , нЗв/час) и от ^{137}Cs ($\text{ADER}_{\text{Cs-tot}}$, нЗв/час) [8]. Предусмотренная создателями прибора обработка спектра позволяла вычислить площадь фотопика от гамма-квантов с энергией 662 кэВ (от ^{137}Cs) и, соответственно, скорость счета в фотопике. По результатам определения скорости счета в фотопике вычисляли мощность дозы гамма-излучения от первичных (нерассеянных) фотонов, имеющих энергию 662 кэВ ($\text{ADER}_{\text{Cs-prim}}$, нЗв/ч) [7].

Значительная часть результатов измерений, выполненных в 2015–2016 гг., была использована для калибровки прибора МКС АТ 6101Д в условиях размещения дозиметра в рюкзаке на спине у оператора [7]. Численные значения для этих точек измерений (всего 29) были взяты из приложения к работе [7].

Для сравнения и дополнения были использованы аналогичные данные, полученные в исследовании радиоактивно загрязненной территории Ветковского района Беларуси в 2016–2018 гг. [5]. Географически юго-западные районы Брянской области и Ветковский район Гомельской области принадлежат к Брянско-Гомельскому радиоактивному пятну и имеют сходные геологические и климатические условия. В работе [5] также использовали прибор МКС АТ 6101Д, а методика измерений и обработки гамма-спектров полностью соответствовала таковой в исследовании, выполненном на территории России.

Результаты и обсуждение

Сводная статистика по абсолютным значениям ADER_{TRN} , $\text{ADER}_{\text{Cs-tot}}$ и $\text{ADER}_{\text{Cs-prim}}$ для трех локаций представлена в таблице 1. Как видно из таблицы 1, и в российской, и в белорусской выборке мощность дозы от природных радионуклидов была многократно меньше таковой от ^{137}Cs . Такое «удобное» соотношение объясняется прежде всего выбором сильно загрязненных территорий для проведения обследования. Запас ^{137}Cs в почве находился в диапазоне 40–1940 кБк/м² и 452–1620 кБк/м² для российской и белорусской выборки соответственно [3, 5, 7]. Абсолютное доминирование техногенной компоненты в гамма-спектрах позволило оценить мощность дозы от ^{137}Cs со статистической погрешностью, не превышающей 2% [7, 9].

Результаты расчетов вклада мощности дозы нерассеянных гамма-квантов с энергией 662 кэВ в мощность дозы от всех (рассеянных и нерассеянных) гамма-квантов ^{137}Cs в воздухе на высоте 1 м от поверхности земли представлены в таблице 2. Использование непараметрического теста Манна – Уитни показало отсутствие статистически значимых различий между российской и белорусской выборками ($P > 0,05$) для каждой из локаций. Мы объединили российскую и белорусскую выборки (табл. 2). Это объединение усилило статистическую устойчивость оценки вклада нерассеянных гамма-квантов в $\text{ADER}_{\text{Cs-tot}}$. Как видно из таблицы 2, в лесах и на целинных лугах, где более 50% запаса радиоактивного цезия находилось в верхнем 0–4-сантиметровом слое почвы [4, 5], около половины общей антропогенной мощности дозы было обусловлено нерассеянными гамма-квантами от ^{137}Cs . При этом статистически значимых различий между лесными и луговыми участками не было обнаружено (тест Манна–Уитни, $P > 0,05$). Для участков с нарушенным верхним слоем почвы и сравнительно равномерным распределением ^{137}Cs в верхнем слое толщиной 15–25 см [3, 5] лишь 36% дозы (в среднем) приходилось на нерассеянные гамма-кванты. Разница во вкладе нерассеянных гамма-квантов в полную мощность дозы между целинными лугами и участками с нарушенным верхним слоем почвы являлась статистически значимой (тест Манна – Уитни, $P < 0,01$). Значение 5-го перцентиля для вклада $\text{ADER}_{\text{Cs-prim}}$ в $\text{ADER}_{\text{Cs-tot}}$ в группе целинных участков составило 43%. Эта величина взята нами в качестве нижней граничной величины вклада $\text{ADER}_{\text{Cs-prim}}$ в $\text{ADER}_{\text{Cs-tot}}$ при котором луговой участок можно отнести к категории целинных земель.

Заключение

Выполненные измерения и расчеты показали, что с помощью полевого гамма-спектрометра-дозиметра

Таблица 1

Мощность амбиентного эквивалента дозы от природных радионуклидов ($ADER_{TRN}$), от всех (рассеянных и нерассеянных) гамма-квантов $^{137}Cs + ^{137m}Ba$ ($ADER_{Cs-tot}$) и от нерассеянных гамма-квантов с энергией 662 кэВ ($ADER_{Cs-prim}$) на высоте 1 м от поверхности земли

[Table 1]

Ambient dose equivalent rate due to terrestrial radionuclides ($ADER_{TRN}$), the sum of the primary and scattered photons from $^{137}Cs + ^{137m}Ba$ ($ADER_{Cs-tot}$), and the 662 keV primary photons ($ADER_{Cs-prim}$) at a height of 1 m above the ground surface]

Локация [Location]	n	ADER _{TRN} (nSv/h)		ADER _{Cs-tot} (nSv/h)		ADER _{Cs-prim} (nSv/h)	
		Средняя ± С.о. [Mean ± s.d.]	Разброс [Range]	Средняя ± С.о. [Mean ± s.d.]	Разброс [Range]	Средняя ± С.о. [Mean ± s.d.]	Разброс [Range]
Россия (2015–2016 гг.) [Russia (2015–2016)]							
Лес [Forest]	20	22 ± 5	15 – 29	841 ± 677	55 – 2700	453 ± 363	31 – 1430
Целинная почва [Virgin soil]	15	24 ± 6	18 – 39	1037 ± 365	517 – 1770	534 ± 220	238 – 1010
Культивированная почва [Cultivated soil]	6	28 ± 9	17 – 43	490 ± 197	190 – 657	165 ± 62	74 – 221
Беларусь (2016–2018 гг.) [5] [Belarus (2016–2018) [5]]							
Лес [Forest]	7	18 ± 3	14 – 22	1040 ± 327	787 – 1640	541 ± 183	406 – 887
Целинная почва [Virgin soil]	4	22 ± 4	19 – 27	1400 ± 653	783 – 2220	700 ± 399	330 – 1190
Культивированная почва [Cultivated soil]	8	25 ± 7	15 – 34	619 ± 246	450 – 1190	230 ± 105	165 – 476

n – число обследованных точек [n – number of sites surveyed].

С.о. – стандартное отклонение [s.d. – standard deviation].

Таблица 2

Вклад (%) нерассеянных гамма-квантов с энергией 662 кэВ в воздухе в мощность дозы от рассеянных и нерассеянных гамма-квантов $^{137}Cs + ^{137m}Ba$ на высоте 1 м от поверхности земли

[Table 2]

Input (%) of the 662 keV primary photons to ambient dose equivalent rate due to the sum of the primary and scattered photons from $^{137}Cs + ^{137m}Ba$ at a height of 1 m above the ground surface]

Локация [Location]	n	Вклад (%) [Input (%)]	
		Средняя ± С.о. [Mean ± s.d.]	Разброс [Range]
Россия (2015–2016 гг.) [Russia (2015–2016)]			
Лес [Forest]	20	54 ± 3	49 – 58
Целинная почва [Virgin soil]	15	51 ± 5	42 – 57
Культивированная почва [Cultivated soil]	6	34 ± 3	31 – 39
Беларусь (2016–2018 гг.) [5] [Belarus (2016–2018) [5]]			
Лес [Forest]	7	52 ± 2	49 – 54
Целинная почва [Virgin soil]	4	48 ± 6	42 – 54
Культивированная почва [Cultivated soil]	8	37 ± 2	34 – 40
Объединенная выборка Россия + Беларусь (2015–2018 гг.) [Unified sample Russia + Belarus (2015–2018)]			
Лес [Forest]	27	53 ± 3	49 – 58
Целинная почва [Virgin soil]	19	50 ± 6	42 – 57
Культивированная почва [Cultivated soil]	14	36 ± 3	31 – 40

n – число обследованных точек [n – number of sites surveyed].

С.о. – стандартное отклонение [s.d. – standard deviation].

можно получить информацию, необходимую для определения принадлежности луговых участков к категории целинных почв в весьма отдаленный период времени после Чернобыльской аварии (30 лет и более). Участок следует включать в предварительный перечень целинных земель в том случае, если вклад нерассеянных гамма-квантов

с энергией 662 кэВ в общую мощность амбиентного эквивалента дозы от ^{137}Cs равен или превышает 43%. Опыт полевых и лабораторных работ, в которых участвовали авторы, позволяет рекомендовать для поиска целинных участков практический алгоритм, изложенный ниже в приложении к данному сообщению.

Приложение

Алгоритм поиска целинного участка с использованием переносного гамма-спектрометра-дозиметра МКС АТ 6101Д

Выбираем подходящий луговой участок на основании имеющейся исторической информации и результатов опроса местных жителей, а также по внешнему виду места потенциального исследования (расположение, структура поверхности, тип растительности). Внутри участка выбираем ровную площадку размерами приблизительно 10×10 м². Отмечаем площадку колышками (или другими метками) по углам и в центре.

Размещаем блок детектирования прибора МКС АТ 6101Д в рюкзаке на спине у оператора [7]. Включаем прибор и выполняем энергетическую калибровку. Проводим измерение МАЭД в центре и по углам площадки. Результаты заносим в протокол и вычисляем среднее значение МАЭД.

В случае расположения выбранного участка рядом с пахотным участком земли (поле, огород) проводим аналогичные измерения МАЭД на культивированном участке. Выбранный луговой участок относим к категории перспективных (потенциально целинных земель), если среднее значение МАЭД на лугу будет в 1,5–2 раза больше, чем среднее значение МАЭД на культивированном участке. Если луговой участок расположен рядом с лесом, то измерения МАЭД целесообразно провести в лесу. В случае примерного равенства значений МАЭД в лесу и на лугу луговой участок считаем перспективным для последующего детального обследования.

В случае отбора участка по данным пункта 3 размещаем прибор на треноге в центре луговой площадки и проводим набор спектра. Продолжительность набора спектра зависит от плотности загрязнения территории ¹³⁷Cs. Для уровней 40 кБк/м² и выше, время набора может быть ограничено 15 минутами. Для меньших значений плотности загрязнения продолжительность измерения подбираем экспериментально с тем, чтобы выйти на оценку площади фотопика 662 кэВ со статистической погрешностью не более 5%. Записываем спектр в память прибора и с помощью ноутбука непосредственно в полевых условиях приводим обработку полученного спектра с последующим вычислением значений $ADER_{TRN}$, $ADER_{Cs-tot}$ и $ADER_{Cs-prim}$ по методу, изложенному в [7, 8].

Вычисляем долю $ADER_{Cs-prim}$ в $ADER_{Cs-tot}$. В случае равенства или превышения значения 43% для вклада $ADER_{Cs-prim}$ относим площадку к категории целинных земель. Выполняем на площадке стандартный набор действий,

включающий измерение мощности дозы и запись гамма-спектров, а также отбор проб почвы и растительности.

Алгоритм разработан на основе анализа данных, полученных на территориях при уровнях загрязнения ¹³⁷Cs выше, чем 40 кБк/м². Поэтому к его использованию на меньших уровнях загрязнения следует относиться с осторожностью.

Литература

1. Golikov V.Yu., Balonov M.I., Jacob P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident // *Radiation and Environmental Biophysics*. 2002. Vol. 41, No. 10. P. 185–193.
2. Голиков В.Ю. Дозиметрия внешнего облучения населения: сравнение аварий на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима-1» // *Радиационная гигиена*. 2020. Т.13, № 1. С. 27–37.
3. Ramzaev V., Yonehara H., Hille R., et al. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003 // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006. Vol. 85. P. 205–227.
4. Рамзаев В.П., Барковский А.Н., Варфоломеева К.В. Вертикальное распределение ¹³⁷Cs в дерново-подзолистой песчаной почве на лугах и в лесах Брянской области в 2015–2016 гг. // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 3. С. 27–41.
5. Ramzaev V., Bernhardsson C., Dvornik A., et al. Calculation of the effective external dose rate to a person staying in the resettlement zone of the Vetka district of the Gomel region of Belarus based on *in situ* and *ex situ* assessments in 2016–2018 // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020. Vol. 214–215. P. 106168.
6. Barnekow U., Fesenko S., Kashparov V., et al. *Guidelines on Soil and Vegetation Sampling for Radiological Monitoring*. Technical Reports Series, No. 486. IAEA, Vienna. 2019.
7. Ramzaev V., Bernhardsson C., Barkovsky A., et al. A backpack γ -spectrometer for measurements of ambient dose equivalent rate, $H^*(10)$, from ¹³⁷Cs and from naturally occurring radiation: the importance of operator related attenuation // *Radiation Measurements*. Vol.107. P. 14–22.
8. Ramzaev V., Barkovsky A., Bernhardsson C., Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ¹³⁷Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors // *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017. Vol. 10, No. 1. P. 18–29.
9. Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Корреляция между расчетными и измеренными значениями мощности дозы гамма-излучения в воздухе в лесах, загрязненных ¹³⁷Cs: отдаленный период после Чернобыльской аварии // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 4. С. 37–46.

Поступила: 20.04.2020 г.

Рамзаев Валерий Павлович – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник лаборатории внешнего облучения Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

Барковский Анатолий Николаевич – руководитель Федерального радиологического центра, главный научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Рамзаев В.П., Барковский А.Н. Метод идентификации участков целинных почв с помощью портативного гамма-спектрометра-дозиметра // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 2. С. 123–128. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-123-128

Method for identifying areas of virgin soils using a portable gamma-spectrometer-dosimeter

Valery P. Ramzaev, Anatoly N. Barkovsky

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

The dose rate of gamma radiation in air at a height of 1 m above the surface of virgin (undisturbed) soil is the starting point in the basic model that is used to estimate the dose of external radiation to the population living in areas contaminated due to the Chernobyl accident. Today, i.e. more than 30 years after the fallout, the finding of truly virgin lands is a rather difficult task, because many meadows were repeatedly plowed and/or rehabilitated after the accident. The purpose of this study was to develop a quantitative criterion for the detection of virgin soil areas using a portable gamma-ray spectrometer-dosimeter. To achieve this, we have conducted a statistical analysis of published and new data on the use of in situ gamma-ray spectrometry in radioactively contaminated territories of the Bryansk region of Russia and the Gomel region of Belarus in 2015–2018. The sample contains results of decoding 60 gamma spectra recorded at a height of 1 m above the ground in virgin meadows, cultivated lands and forests. Based on the performed analysis, a quantitative dosimetric criterion is proposed for in situ identification of virgin soils using a portable gamma-spectrometer-dosimeter. The article presents an algorithm for searching a virgin plot.

Key words: virgin soil, ^{137}Cs , ambient dose equivalent rate, build-up factor, in situ.

References

- Golikov VYu, Balonov MI, Jacob P. External exposure of the population living in areas of Russia contaminated due to the Chernobyl accident. *Radiation and Environmental Biophysics*. 2002;41(10): 185–193.
- Golikov VYu. Dosimetry of external population exposure: a comparison of the Chernobyl and Fukushima accidents. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(1): 27–37 (In Russian).
- Ramzaev V, Yonehara H, Hille R, Barkovsky A, Mishine A, Sahoo SK, et al. Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region, Russia in 1996–2003. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2006;85: 205–227.
- Ramzaev VP, Barkovsky AN, Varfolomeeva KV. Vertical distribution of ^{137}Cs in soddy-podzolic sandy soil in grasslands and forests of the Bryansk region in 2015–2016. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(3): 27–41 (In Russian).
- Ramzaev V, Bernhardsson C, Dvornik A, Barkovsky A, Vodovator A, Jönsson M, et al. Calculation of the effective external dose rate to a person staying in the resettlement zone of the Vetka district of the Gomel region of Belarus based on in situ and ex situ assessments in 2016–2018. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2020;214–215: 106168.
- Barnekow U, Fesenko S, Kashparov V, Kis-Benedek G, Matisoff G, Onda Yu, et al. Guidelines on Soil and Vegetation Sampling for Radiological Monitoring. Technical Reports Series, No. 486. IAEA, Vienna. 2019.
- Ramzaev V, Bernhardsson C, Barkovsky A, Romanovich I, Jarneborn J, Mattsson S, et al. A backpack γ -spectrometer for measurements of ambient dose equivalent rate, $H^*(10)$, from ^{137}Cs and from naturally occurring radiation: the importance of operator related attenuation. *Radiation Measurements*. 2017;107: 14–22.
- Ramzaev V, Barkovsky A, Bernhardsson C, Mattsson S. Calibration and testing of a portable NaI(Tl) gamma-ray spectrometer-dosimeter for evaluation of terrestrial radionuclides and ^{137}Cs contributions to ambient dose equivalent rate outdoors. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 18–29.
- Ramzaev VP, Barkovsky AN. Correlation between calculated and measured values of gamma dose rate in air in forests contaminated with ^{137}Cs : the remote period after the Chernobyl accident. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4): 37–46 (In Russian).

Received: April 20, 2020

Valery P. Ramzaev

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia. E-mail: V.Ramzaev@mail.ru

For correspondence: Valery P. Ramzaev – Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of External Exposure, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia. E-mail: V.Ramzaev@mail.ru)

Anatoly N. Barkovsky – Head of the Federal Radiological Centre, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Ramzaev V.P., Barkovsky A.N. Method for identifying areas of virgin soils using a portable gamma-spectrometer-dosimeter. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020. Vol. 13, No. 2. P. 123-128. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-2-123-128