

ЛИТЕРАТУРА

1. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, Medical Electrical Equipment: Glossary of Defined Terms, IEC TR 60788, IEC, Geneva, 2004. – 6 p.
2. Dosimetry of Small Static Fields Used in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Reference and Relative Dose determination. / IAEA TRS 483. Vienna, 2017. – 14 p.
3. A methodological approach to reporting corrected small field relative outputs / G. Ranmer-Sargison [et al.]. // Radiother. Oncol. – 2013. – Vol. 109. P. 350–355.
4. Eklund, K. Fast modelling of spectra and stopping-power ratios using differentiated fluence pencil kernels / K. Eklund, A. Ahnesjö // Phys. Med. Biol. – 2008. – Vol. 53. P. 4231–4247.
5. Ionization chamber dosimetry of small photon fields: A Monte Carlo study on stopping-power ratios for radiosurgery and IMRT beams / Sanchez-Doblado F. [et al.]. // Phys. Med. Biol. – 2003. – Vol. 48. P. 2081–2099.
6. Podgorsak E. B. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005, – 696 p.

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НИФХИ ИМ. Л. Я. КАРПОВА В 2020 ГОДУ STUDY OF RADIONUCLIDE CONTENT IN SOIL IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE KARPOV INSTITUTE OF PHYSICAL CHEMISTRY IN 2020

Я. В. Непогодина¹, А. А. Удалова¹
Y. V. Nepogodina¹, A. A. Oudalova¹

¹ИАТЭ НИЯУ МИФИ
г. Обнинск, Российская Федерация
dragonflynepogodina@gmail.com
oudalova@mail.ru

¹IATE National Research Nuclear University MEPhI
Obninsk, Russian Federation

Радионуклиды природного происхождения (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th и другие) содержатся в объектах окружающей среды, их излучение вносит вклад в радиационный фон планеты. Также в результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду поступают долгоживущие техногенные радионуклиды, например ¹³⁷Cs. Наилучший способ наглядно продемонстрировать реальную экологическую опасность или безопасность ядерных и радиационных технологий – это получить результаты независимого обследования состояния окружающей среды вблизи действующего предприятия соответствующего профиля, что позволяет предупредить негативные последствия.

Radionuclides of natural origin (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th and others) are contained in environmental objects, their radiation contributes to the radiation background of the planet. Also, as a result of human activities in the environment enter long-lived man-made radionuclides, such as ¹³⁷Cs. The best way to demonstrate the real environmental hazard or safety of nuclear and radiation technologies is to obtain the results of an independent survey of the environment near an operating enterprise of the relevant profile, which makes it possible to prevent negative consequences.

Ключевые слова: радиационно опасный объект, естественные радионуклиды, радиоцезий, почва, загрязнение окружающей среды.

Keywords: radiation hazardous object, natural radionuclides, radiocaesium, soil, environmental contamination.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-254-258>

Для оценки экологической безопасности ядерно опасных предприятий необходимо изучать закономерности поведения естественных и техногенных радионуклидов в прилегающих природных экосистемах. В отличие от объектов ядерной энергетики, воздействие на окружающую среду предприятий неэнергетического профиля (например, производящих радиофармпрепараты) изучено недостаточно. Одним из таких объектов является расположенный в г. Обнинске Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова (НИФХИ), в зоне влияния которого с 2018 г. проводится радиоэкологический мониторинг природной среды. Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова имеет экспериментально-исследовательский комплекс, который включает исследовательскую ядерную установку типа ВВР-ц, ускорители электронов, облучательные установки на основе радионуклида ⁶⁰Co.

Целью данной работы является изучение содержания гамма-излучающих радионуклидов в почвах в зоне влияния производственной деятельности НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Отбор проб почвы проводился в июле 2020 г. в 19 точках санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения НИФХИ (рис. 1). Точки отбора расположены с разных сторон от предприятия, при выборе мест пробоотбора учитывалась роза ветров. Точки 1.6, 1.10, 2.6, 2.7, 2.7А, 2.8 находятся на открытой местности с луговой растительностью; почвы по большей части являются антропогенно нарушенными. Остальные точки расположены в лесных насаждениях. На каждой пробоотборной площадке пробы почвы отбирались методом конверта в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84 [1] (пробы почвы массой 1–2 кг отбираются в пяти точках, расположенных в углах и центре квадрата со стороной 10 м с глубины до 20 см, из которых на месте готовится смешанная проба массой 3–4 кг). В точках 1.9 и 2.4 из-за особенностей рельефа были взяты точечные пробы. Почвенные образцы упаковывались в двойные полиэтиленовые пакеты и подписывались.

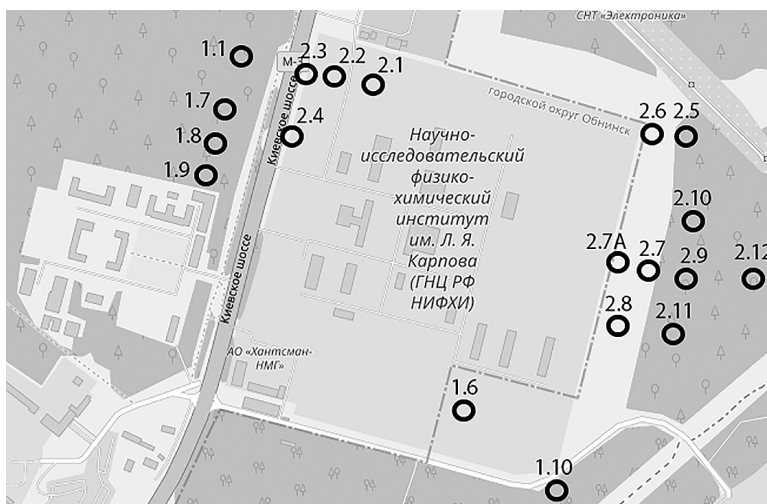


Рисунок 1 – Расположение точек отбора проб почвы в СЗЗ и ЗН НИФХИ

Измерение удельной активности техногенного ^{137}Cs и естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K проводилось в НИЯУ МИФИ методом гамма-спектрометрии при помощи сцинтилляционного гамма-спектрометра «Прогресс-гамма».

Гамма-спектрометр представляет собой стационарную установку со сцинтилляционным блоком детектирования на основе кристалла йодистого натрия NaI(Tl) , ПЭВМ с программным обеспечением «Прогресс» (программа «Прогресс») для управления всеми режимами работы на всех этапах выполнения измерений, обработки результатов и их протоколирования.

Проведено исследование физико-химических свойств почв: диагностика почв по гранулометрическому составу проводилась «мокрым» методом, определение полной влагоёмкости проводилось гравиметрическим методом, кислотности – потенциометрическим методом, удельной электропроводности (УЭП) – кондуктометрическим методом.

Установлено, что 19 образцов почвы распределяются по механическому составу на три вида: песок, супесь, лёгкий суглинок. Из них 8 образцов являются песком, 9 образцов – супесью, 2 образца – лёгким суглинком.

Показатель полной влагоёмкости отражает способность почвы удерживать влагу. Его величина зависит от пористости почвы, а следовательно, от ее гранулометрического состава. Среднее значение полной влагоёмкости для песчаной почвы составляет $32,8 \pm 2,1$ %; для супесчаной почвы – $38,8 \pm 2,3$ %. Для лёгкого суглинка достигается наибольшее значение – $41,7 \pm 1,0$ % (рис. 2). Идёт увеличение полной влагоёмкости с утяжелением гранулометрического состава почвы.

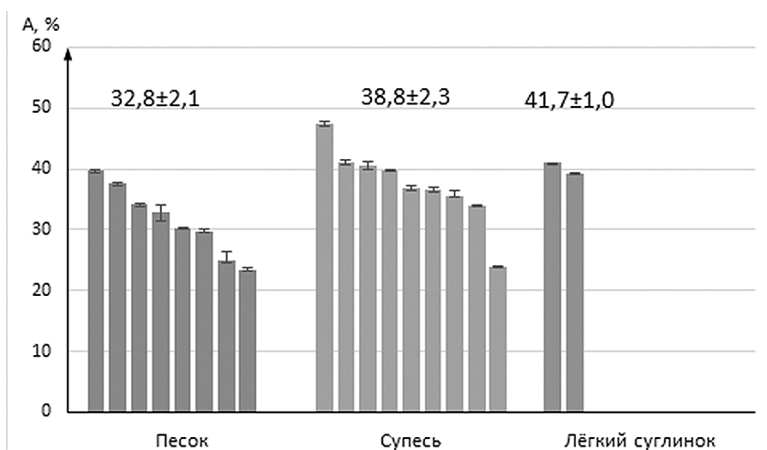


Рисунок 2 – Полная влагоёмкость (%) в зависимости от типа почвы в 2020 г.

Большое значение для экотоксических свойств почвы и поведения загрязняющих веществ имеет кислотность почвы. Актуальная кислотность связана с активностью H^+ -ионов в жидких фазах почвенных систем и характеризуется величиной pH (рис. 3).

Отобранные пробы почвы обладают значениями pH в диапазоне 5,1–8,4 и варьируются от слабокислых до слабощелочных образцов. Точки с высокой кислотностью в основном расположены в лесу восточнее НИФХИ. Действительно, в регионе распространены дерново-подзолистые почвы, которые характеризуются высокой исходной кислотностью и слабой насыщенностью основаниями.

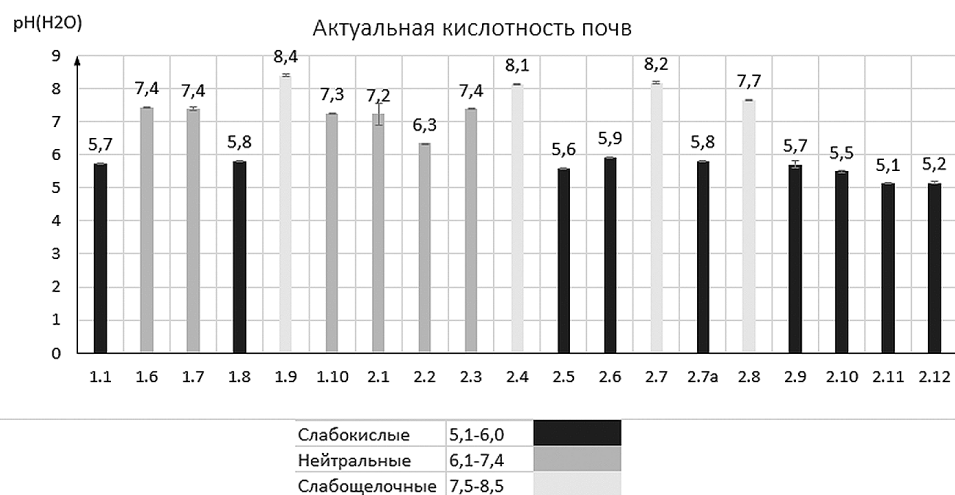


Рисунок 3 – Результаты определения pH в почве в зоне влияния НИФХИ в 2020 г.

Удельная электропроводность почв (УЭП) варьируется от 17,4 до 110,3 мкСм/см, что говорит о крайне малом содержании солей в изученной почве (рис. 4). Нейтральные и кислые почвы обладают гораздо меньшей электропроводностью в сравнении со слабощелочными почвами. Существует корреляция электропроводности с ёмкостью катионного обмена, поэтому обнаруженные низкие значения УЭП в почвах вблизи НИФХИ могут также сигнализировать об их низкой сорбционной способности.

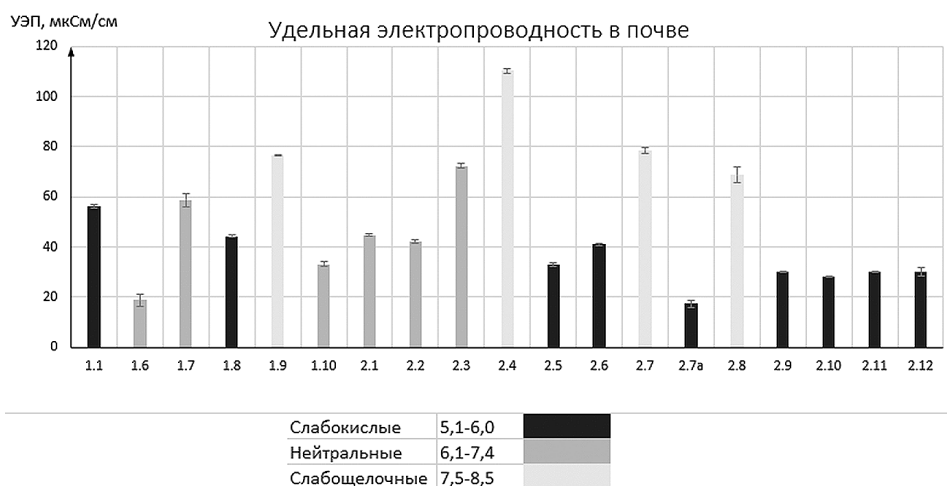


Рисунок 4 – Результаты определения УЭП в почве в зоне влияния НИФХИ в 2020 г.

Для первичного радиоэкологического обследования территории в пробах почвы определяли содержание гамма-излучающих радионуклидов естественного (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и техногенного (^{137}Cs) происхождения. По литературным данным, фоновые значения для Московского региона составляют: для ^{226}Ra – 22 Бк/кг, ^{232}Th – 40 Бк/кг, ^{40}K – 560 Бк/кг, ^{137}Cs – 9 Бк/кг [2].

Согласно полученным данным, удельная активность ^{226}Ra в почве находится в диапазоне от $8,7 \pm 2,4$ до $19,1 \pm 3,9$ Бк/кг, со средним значением $13,3 \pm 0,1$ Бк/кг. Все значения удельной активности радия ниже фонового содержания для Московского региона.

Активность ^{232}Th находится в диапазоне от $9,9 \pm 2,8$ до $24,9 \pm 4,5$ Бк/кг со средним значением $16,5 \pm 0,1$ Бк/кг. Все значения удельной активности для тория значительно ниже фонового содержания для Московского региона.

Удельная активность ^{40}K изменяется в диапазоне от $247,1 \pm 52,8$ до $425,3 \pm 82,3$ Бк/кг со средним значением $337,4 \pm 1,9$ Бк/кг. Полученные значения полностью соответствуют сведениям о типичном содержании данных радионуклидов в почвах Московского региона.

Удельная активность техногенного ^{137}Cs варьирует от $0,00\pm 0,9$ до $9,1\pm 2,3$ Бк/кг в разных пробах, со средним значением $4,0\pm 0,1$ Бк/кг. Наибольшие значения, зафиксированные в точках 1.1, 1.8, 2.5, 2.9, 2.11, 2.12, приближены к фоновому содержанию цезия для Московского региона. Повышенные значения цезия в основном обнаружены в точках, расположенных в лесу восточнее НИФХИ, что возможно из-за глобальных выпадений.

Таким образом, содержание техногенного радионуклида ^{137}Cs в почве в зоне влияния НИФХИ находится на уровне региональных фоновых значений, а содержание естественных радионуклидов – ниже регионального фонового уровня.

Прослеживается взаимосвязь кислотности почв и средней удельной активности радионуклидов. Содержание радионуклидов в кислых почвах в среднем выше, чем в нейтральных и слабощелочных. Таким образом, рост кислотности почвенного раствора существенно влияет на процессы поглощения и закрепления радионуклидов почвой, следовательно, и на интенсивность перехода радионуклидов из почвы в растения (табл. 1).

Таблица 1 – Зависимость содержания радионуклидов от кислотности почв

Кислотность	Средняя удельная активность, Бк/кг			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Слабокислая	$6,1\pm 1,0$	$14,8\pm 1,2$	$18,1\pm 1,6$	$359,4\pm 15,9$
Нейтральная	$3,3\pm 1,0$	$12,3\pm 0,8$	$14,6\pm 1,2$	$322,4\pm 11,8$
Слабощелочная	$0,3\pm 0,2$	$10,5\pm 0,4$	$12,4\pm 2,0$	$283,0\pm 22,3$

Гранулометрический состав почв оказывает большое влияние на адсорбцию радионуклидов почвами. Сорбционная поверхность частиц песчаной фракции минимальна, а у глинистой фракции – максимальна, это означает, что способность к накоплению радионуклидов возрастает от “лёгких” почв к более “тяжелым” (табл. 2).

Таблица 2 – Зависимость содержания радионуклидов в почве от гранулометрического состава

Тип почвы	Средняя удельная активность, Бк/кг			
	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Песок	$1,5\pm 1,0$	$10,6\pm 0,5$	$13,6\pm 1,7$	$301,1\pm 15,0$
Супесь	$5,2\pm 1,0$	$15,0\pm 1,0$	$17,8\pm 1,2$	$353,6\pm 11,7$
Лёгкий суглинок	$7,5\pm 0,8$	$15,5\pm 0,3$	$20,9\pm 2,4$	$391,7\pm 33,6$

Для более полного исследования зависимости содержания радионуклидов от физико-химических свойств почвы был проведён корреляционный анализ данных. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Корреляция между содержанием радионуклидов и физико-химическими показателями почв

Свойства почв	^{137}Cs	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K
Полная влагоёмкость	0,72	0,61	0,48	0,41
Удельная электропроводность	-0,42	-0,28	-0,20	-0,40
Кислотность	-0,78	-0,48	-0,33	-0,45

Приведённые коэффициенты корреляции позволяют получить более чёткие сведения о зависимости содержания радионуклидов от свойств почвы. Положительный коэффициент показывает прямую зависимость свойства от характеристики. Так, с ростом полной влагоёмкости увеличивается содержание радионуклидов в почве. Влагоёмкость возрастает с увеличением глинистых фракций в почве.

Кислотность и удельная электропроводность имеют обратную зависимость характеристик, при снижении показателей рН и УЭП наблюдается увеличение удельной активности радионуклидов в почве. Самое высокое влияние на распределение радионуклидов оказывает кислотность, затем следует полная влагоёмкость и удельная электропроводность.

С учётом вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1) по гранулометрическому составу почвы относятся к песчаным, супесчаным и легкосуглинистым, среднее значение полной влагоёмкости возрастает в ряду «песчаная>супесчаная>лёгкий суглинок»;

2) отобранные пробы почвы обладают значениями рН в диапазоне 5,1–8,4 и варьируются от слабокислых до слабощелочных образцов. Нейтральные и кислые почвы обладают гораздо меньшей электропроводностью в сравнении со слабощелочными почвами;

3) полная влагоёмкость оказывает прямое влияние на рост содержания радионуклидов, кислотность и удельная электропроводность имеют обратную зависимость характеристик;

4) самое высокое влияние на распределение радионуклидов оказывает кислотность, затем следует полная влагоёмкость и удельная электропроводность.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.
2. Лащенко Т., Зозуль Ю. Определение фонового содержания радионуклидов и тяжелых металлов в почве / Атомная энергия, 2006. – Т. 100, вып. 3. – С. 231–237.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРОЦЕДУР РАДОНОТЕРАПИИ ENSURING RADIATION SAFETY DURING RADON THERAPY PROCEDURES

A. С. Невдах, Т. В. Дашкевич
A. S. Nevdakh, T. V. Dashkevich

¹Белорусский государственный университет, БГУ

²Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ), г. Минск, Республика Беларусь
drns@iseu.by, nastyanevdakh01@bk.ru, dashkevich.tv@gmail.com

¹Belarusian State University, BSU

²International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU
Minsk, Republic of Belarus

Радонотерапия – это вид медицинского лечения с использованием природного газа радона в определенных количествах для снятия хронической боли и усталости. Лечебные дозировки радоновых процедур должны располагаться в диапазоне между минимально действующей и максимально допустимой. Это необходимо для эффективного лечения и в то же время для обеспечения радиационной безопасности больных. Альфа-излучение оказывает на клетки кожи и других органов прямое действие, а через раздражение рецепторов и передачу сигналов и вторичное, за счет активации центральных звеньев нервной, эндокринной и иммунной систем организма. Индивидуальный контроль доз облучения является обязательным для персонала, контролирующему процедуру. Персонал должен знать и строго соблюдать инструкцию, техники безопасности, нормы радиационной безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии.

Radon therapy is a type of medical treatment using natural radon gas in certain amounts to relieve chronic pain and fatigue. Therapeutic dosages of radon procedures should be in the range between the minimum effective and maximum permissible. This is necessary for effective treatment and at the same time to ensure the radiation safety of patients. Alpha radiation has a direct effect on the cells of the barrier, as well as other organs, and through the irritation of various receptors in these organs also indirectly, due to the activation of the central links of the nervous, endocrine and immune systems. Individual control of radiation doses is mandatory for the personnel supervising the procedure. Personnel must know and strictly follow the instructions, safety regulations, radiation safety standards, fire safety and industrial sanitation.

Ключевые слова: радон, радонотерапия, радиационная безопасность.

Keywords: radon, radon therapy, radiation safety.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-258-261>

Введение. Изотопы ряда радия в природе распространены повсеместно. В связи с этим радий, радон и его дочерние продукты содержатся в почве, воде и атмосферном воздухе. В больших концентрациях радон содержится в водах ряда радиоактивных целебных источников. Помимо радона, в воде некоторых целебных источников могут выявляться в повышенных концентрациях уран, радий, торий [1].

Изотопы радона и его дочерние продукты в виде радоновых ванн, радоновой воды для питья, воздушно-радоновых смесей для вдыхания, радоновых аппликаторов широко используются в лечебной практике. При радоновых процедурах радон проникает в ткани организма, образуются дочерние продукты распада, также оседающие на кожу больного из лечебной среды (вода или воздух). Лечебное действие радона и его ДПР обусловлено их радиоактивными свойствами, а именно альфа-излучением. Поэтому радоновые процедуры относят к альфа-терапии.

Во время процедуры радон на некоторое время накапливается в кожных покровах, образуя «депо», затем он может переноситься с кровью или диффундировать в другие органы и ткани, одновременно выделяясь через легкие с выдыхаемым воздухом. За время приема ванны, содержащей радон в высоких концентрациях происходит