

Константинов Александр Васильевич

*магистрант, кафедра Безопасности труда, Новосибирский
государственный технический университет, Россия, г. Новосибирск*

**ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИЯ-226 В
БИОТЕ ЛЕСНОГО МАССИВА, ЗАГРЯЗНЁННОГО
РАДИОНУКЛИДАМИ УРАНОВОГО РЯДА**

Аннотация. В статье представлены результаты оценки накопительной способности радия-226 (Ra-226) в грибах и растениях лесного массива, прилегающего к зоне влияния объекта уранового наследия в Новосибирской области. На основе гамма-спектрометрического анализа проб почв и биоты рассчитаны коэффициенты накопления для опята, костяники, мхов и других видов. Установлено, что опята и костяника обладают наибольшей аккумулирующей способностью, что создаёт потенциальные риски для населения при сборе дикоросов. Полученные данные могут быть использованы для корректировки программ радиационного мониторинга и информирования населения.

Annotation. This article presents the results of an assessment of the bioaccumulation potential of radium-226 (Ra-226) in fungi and plants in a forest area adjacent to the impact zone of a uranium legacy site in the Novosibirsk Region. Based on gamma-spectrometric analysis of soil and biota samples, accumulation coefficients have been calculated for honey mushrooms, boneberry, mosses and other species. It has been established that honey mushrooms and bone mushrooms possess the highest accumulation capacity, which poses potential risks to the population when foraging for wild mushrooms. The data obtained can be used to adjust radiation monitoring programmes and to inform the public.

Ключевые слова: радий-226, урановое наследие, коэффициенты накопления, грибы, ягоды, гамма-спектрометрия, радиоактивное загрязнение.

Keywords: radium-226, uranium legacy, bioaccumulation factors, mushrooms, berries, gamma spectrometry, radioactive contamination.

Введение

Загрязнение окружающей среды естественными радионуклидами, прежде всего изотопами урана и радия, является одной из актуальных проблем современной радиэкологии. Особую опасность представляют объекты так называемого «уранового наследия» – выведенные из эксплуатации предприятия по добыче и переработке урановых руд, а также территории, подвергшиеся техногенному воздействию в ходе геологоразведочных работ и функционирования ядерно-топливного цикла [2, 5].

Проведённые ранее радиэкологические исследования на территории лесного массива в Станционном сельсовете Новосибирского района выявили локальные участки с аномально высокой мощностью амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, достигающей 34,8 мкЗв/ч на высоте 5 см от поверхности, что превышает фоновые значения более чем в 230 раз [1]. Лабораторный гамма-спектрометрический анализ проб почв показал, что основным загрязнителем является радий-226 с удельной активностью до 15 000 Бк/кг. Установлено, что загрязнение имеет техногенное происхождение и связано с выносом радионуклидов с территории золоотвала поверхностными водами и ветром.

Одним из ключевых путей воздействия радионуклидов на население является поступление их через пищевые цепи. Грибы и дикорастущие ягоды, активно собираемые местными жителями, могут аккумулировать радий-226 в концентрациях, значительно превышающих его содержание в почве [2, 4]. В связи с этим оценка коэффициентов накопления (Кн) для основных видов биоты, произрастающих на загрязнённых участках, приобретает высокую практическую значимость.

Пробоотбор и результаты

Отбор проб почв, грибов и растительности проводился в осенний период. Пробы грибов включали опята, белые грибы, лисички, трутовик. Растительные

образцы включали ягоды костяники, плоды шиповника, мох гилюкомиум, напочвенную мелкую растительность, а также кору и древесину берёзы.

Определение удельной активности радионуклидов выполнялось на гамма-спектрометрическом комплексе с полупроводниковым HPGe-детектором с использованием программного обеспечения SpectralLineBG в лаборатории радиационного контроля. Пробоподготовка осуществлялась в соответствии с требованиями МР 2.6.1/2.3.7.0216-20 [6]. Расчёт удельной активности проводился с учётом массы образца, времени измерения и эффективности регистрации детектора. Коэффициент накопления рассчитывался по формуле (1):

$$K_n = \frac{A_{\text{биота}}}{A_{\text{почва}}} \quad (1)$$

где $A_{\text{биота}}$ – удельная активность радионуклида в биологическом образце, Бк/кг; $A_{\text{почва}}$ – удельная активность радионуклида в почве на том же участке, Бк/кг. В качестве фоновой почвы использовалась проба с удельной активностью Ra-226 1800 Бк/кг.

Результаты гамма-спектрометрического анализа грибов представлены в таблице 1. Наибольшая удельная активность Ra-226 зафиксирована в опятах (3100 Бк/кг), наименьшая – в трутовике (130 Бк/кг), что объясняется его произрастанием на стволах деревьев на высоте более 1 метра и слабым контактом с загрязнённым почвенным горизонтом.

Таблица 1

Содержание Ra-226 в грибах и коэффициенты накопления

Образец	Удельная активность Ra-226, Бк/кг	Коэффициент накопления, K_n
Опята	3100	1,72
Белый гриб	790	0,44
Трутовик	130	0,07
Лисички	170	0,09

Анализ растительных образцов (таблица 2) показал, что наибольшую аккумулирующую способность проявляют ягоды костяники и мелкая

напочвенная растительность, мох гилокомиум также характеризуется высоким коэффициентом накопления. В свою очередь древесная растительность демонстрирует значительно более низкие значения K_n (не более 0,19–0,25), что связано с расположением корневых систем ниже загрязнённого поверхностного слоя почвы.

Таблица 2

Содержание Ra-226 в растениях и коэффициенты накопления

Образец	Удельная активность Ra-226, Бк/кг	Коэффициент накопления, K_n
Костяника	1660	0,92
Мелкая растительность	1200	0,66
Мох гилокомиум	900	0,5
Кора берёзы	450	0,25
Древесина берёзы	350	0,19
Шиповник	120	0,07

Заключение

В результате проведённых радиоэкологических исследований лесного массива Новосибирской области установлено, что радий-226 активно аккумулируется в грибах и растениях, произрастающих на загрязнённой территории. Полученные результаты свидетельствуют о наличии выраженной видоспецифической способности биоты к накоплению радия-226, что согласуется с данными других исследований [3,7]. Наибольшей накопительной способностью обладают опята ($K_n = 1,72$) и ягоды костяники ($K_n = 0,92$), что создаёт прямую угрозу для здоровья населения, регулярно собирающего дикоросы в данном районе.

Выявленные закономерности позволяют рекомендовать:

1. Включение грибов и ягод в программы радиоэкологического мониторинга в качестве биоиндикаторов загрязнения Ra-226.

2. Проведение разъяснительной работы с населением садоводческих товариществ, прилегающих к загрязнённому лесному массиву, о недопустимости сбора и употребления грибов и ягод с данной территории.

3. Расширение программы государственного мониторинга почв Новосибирской области с включением Ra-226 в перечень контролируемых радионуклидов.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение сезонной динамики накопления Ra-226 в биоте и оценку дозовых нагрузок на население при различных сценариях потребления загрязнённых дикоросов.

Список литературы

1. Константинов, А. В. Влияние предприятий урановой промышленности на радиационную обстановку в ландшафтах Новосибирской области / А. В. Константинов // Наука. Технологии. Инновации : Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции молодых ученых. В 9-ти частях, Новосибирск, 08–12 декабря 2025 года. Часть 9. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2026. – С. 363–367.
2. Манахов, Д. В. Формы нахождения радия-226 в подзолах северо-востока острова Сахалин в зоне влияния нефтедобывающего предприятия / Д. В. Манахов, З. Н. Егорова // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 744–749.
3. Манахов Д. В., Тамразова А. Р., Магомедова К. М., Карпухин М. М., Липатов Д. Н., Мамихин С. В. Содержание и особенности поведения тяжелых естественных радионуклидов в серой и агросерой почвах Тульских засек // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2022. – № 4. – С. 39–47.
4. Переволоцкий А. Н., Булавик И. М., Переволоцкая Т. В. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr древесиной березы бородавчатой (*Betula pendula* Roth.) в различных условиях местопроизрастания // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2005. – Т. 45, № 4. – С. 498–505.

5. Титов А. В., Шандала Н. К., Бельских Ю. С., Серегин В. А., Дороньева Т. А., Филонова А. А., Семенова М. П., Гущина Ю. В., Павленко-Михайлов Ю. Н. Радиационная обстановка на территории площадки уранового наследия в пади Бамбакай (Забайкальский край) // Радиационная гигиена. – 2022. – Т. 15, № 3. – С. 72–81.
6. МР 2.6.1/2.3.7.0216-20. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. 2.3.7. Состояние здоровья населения в связи с состоянием питания. Радиохимическое определение удельной активности природных радионуклидов в пробах пищевой продукции, почвы, других объектов окружающей среды и биопробах" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.09.2020)
7. Rachkova N. G., Shaposhnikova L. M. Speciation of Radium-226 in the Components of Terrestrial and Aqueous Northern Taiga Ecosystems in a Former Radium Production Site // *Geochemistry International*. – 2020. – Vol. 58, № 6. – P. 719–728.

References

1. Konstantinov, A. V. The impact of uranium industry enterprises on the radiation situation in the landscapes of the Novosibirsk Region / A. V. Konstantinov // *Science. Technology. Innovation: Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Young Scientists*. In 9 parts, Novosibirsk, 8–12 December 2025. Part 9. – Novosibirsk: Novosibirsk State Technical University, 2026. – P. 363–367.
2. Manakhov, D. V. Forms of radium-226 in podzols of north-eastern Sakhalin Island within the zone of influence of an oil production enterprise / D. V. Manakhov, Z. N. Egorova // *Soil Science*. – 2014. – No. 6. – P. 744–749.
3. Manakhov, D. V., Tamrazova, A. R., Magomedova, K. M., Karpukhin, M. M., Lipatov, D. N., Mamikhin, S. V. Content and behavioural characteristics of heavy natural radionuclides in grey and agro-grey soils of the Tula Zaseks // *Bulletin of Moscow University. Series 17: Soil Science*. – 2022. – No. 4. – P. 39–47.
4. Perevolotsky, A. N., Bulavik, I. M., Perevolotskaya, T. V. Accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr by the wood of silver birch (*Betula pendula* Roth.) under various

growing conditions // Radiation Biology. Radioecology. – 2005. – Vol. 45, No. 4. – P. 498–505.

5. Titov, A. V., Shandala, N. K., Belskikh, Yu. S., Seregin, V. A., Doronyeva, T. A., Filonova A. A., Semenova M. P., Gushchina Yu. V., Pavlenko-Mikhailov Yu. N. Radiation conditions at the uranium legacy site in the Bambakay valley (Transbaikal Region) // Radiation Hygiene. – 2022. – Vol. 15, No. 3. – P. 72–81.

6. MR 2.6.1/2.3.7.0216-20. 2.6.1. Ionising radiation, radiation safety. 2.3.7. Public health in relation to nutritional status. 'Radiochemical determination of the specific activity of natural radionuclides in samples of foodstuffs, soil, other environmental samples and biological samples' (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 22 September 2020).

7. Rachkova N. G., Shaposhnikova L. M. Speciation of Radium-226 in the Components of Terrestrial and Aqueous Northern Taiga Ecosystems in a Former Radium Production Site // Geochemistry International. – 2020. – Vol. 58, № 6. – P. 719–728.