

8. Santos A. O., Pezza H. R., Pezza L. Determination of diclofenac in pharmaceutical preparations using a potentiometric sensor immobilized in a graphite matrix // *Talanta*. 2006. Vol. 68. P. 636–642.
9. Hassan S., Mahmoud W., Elmosallamy M., Almarzooqi M. Iron(II)-phthalocyanine as a novel recognition sensor for selective potentiometric determination of diclofenac and warfarin drugs // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2005. Vol. 39. P. 315–321.
10. Du-Cuny L., Huwylar J., Fischer H., Kansy M. A potentiometric titration method for the crystallization of drug-like organic molecules // *Int. J. Pharm.* 2007. V. 342. P. 161–167.
11. Oumada F. Z., Ràfols C., Rosés M., Bosch E. Determination of pKa by pH Gradient Reversed-Phase HPLC // *J. Pharm. Sci.* 2002. V. 91, No 4. P. 991–999.
12. Avdeef A. Solubility of sparingly-soluble ionizable drugs // *Adv. Drug Delivery Rev.* 2007. V. 59. P. 568–590.
13. Государственная фармакопея Республики Беларусь. 1-е изд., Т. 1. Общие методы контроля качества лекарственных средств / Минск, 2006. 656 с.

МИГРАЦИЯ РАДИЯ ИЗ ПОЧВЫ В РАСТИТЕЛЬНОСТЬ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ БЕЛАРУСИ

Е. В. Гаркуша, Е. В. Войникова, М. В. Попеня

ВВЕДЕНИЕ

Природные источники ионизирующего излучения определяют основной вклад в дозу облучения жителей Земли, в том числе, и населения Республики Беларусь. Большая часть дозы облучения населения от естественных радионуклидов обусловлена длительным воздействием ионизирующего излучения малой мощности. К числу наиболее опасных радионуклидов естественного происхождения относятся альфа-излучающие радионуклиды рядов урана и тория. Альфа-частицы, испускаемые при распаде этих радионуклидов, обладают высокой энергией (от 4,2 до 7,5 МэВ), поэтому при их попадании в организм человека в микрообъемах биологических тканей под действием альфа-излучения могут возникать серьезные необратимые нарушения [1].

Облучение населения от альфа-излучающих радионуклидов в основном обусловлено их ингаляционным и пероральным поступлением в организм. При этом облучение организма человека за счет ингаляционного и перорального поступления природных радионуклидов с пищевыми продуктами и питьевой водой может быть довольно существенным. В Республике Беларусь установлены пределы годового поступления радионуклидов в организм человека. В частности, для населения поступление ^{226}Ra организм с воздухом не должно превышать 220 Бк/год, а с пищей и водой – 670 Бк/год [2].

В связи с введением ограничений на поступление радионуклидов в организм человека, возникает потребность в информации об их содержании в тех

компонентах окружающей среды, откуда радионуклиды могут поступать в организм человека. Поскольку система «почва – растение» является одним из основных путей проникновения радионуклидов в трофические цепи человека, информация о содержании радионуклидов в почве и способности растений усваивать их представляет несомненный интерес.

Данные о содержании радия – одного из важнейших природных альфа-излучающих радионуклидов в почвах, природных водах и других компонентах окружающей среды ограничены, практически отсутствуют сведения о биологической доступности радия растениям в условиях Беларуси. Настоящая работа посвящена изучению распределения радия естественного происхождения в системе «почва – растение и оценке биологической доступности этого радиоактивного элемента в природных экосистемах Беларуси.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования являлись сопряженные образцы почвы и травяной растительности, отобранные летом 2008 года. Образцы отобраны в Гомельской, Брестской, Витебской, Гродненской и Минской областях, на участках с разным типом почвенного покрова (табл. 1, 2).

Таблица 1

Местоположение контрольных участков и тип экосистем

Участок	Место отбора	Экосистема
ДПП-14	Дерновичи, Наровлянский район Гомельской области 51°35'36'' с. ш.; 29°55'10'' в. д.	Лес (сосняк мшистый)
ДПП-15	Санаторий «Радон» (1) Гродненской области 53°31'05'' с. ш.; 25°30'43'' в. д.	Лес (сосняк мшистый)
ДПП-16	Санаторий «Радон» (2) Гродненской области 53°31'04,9'' с. ш.; 25°30'43,4'' в. д.	Лес (сосняк мшистый)
ДПП-17	Санаторий «Поречье» Гродненской области 53°52'26,9'' с. ш.; 24°09'02,3'' в. д.	Суходольный луг
ДСг-1	Довляды Наровлянского района Гомельской области 51°31'26'' с. ш.; 30°03'16'' в. д.	Пойменный луг
ДСп-1	Шарковчина Витебской области 55°21'13'' с. ш.; 27°29'07'' в. д.	Пойменный луг
Т-1	Микашевичи, Лунинецкий района Брестской области 52°14'46'' с. ш.; 27°26'32'' в. д.	Пойменный луг
Т-2	Минск 53°49'50'' с. ш.; 27°39'50'' в. д.	Луг на водораздельном плато

Тип почв и виды растительности

Участок	Тип почвы	Вид растительности
ДПП-14	<i>Автоморфная</i> дерново-подзолистая песчаная	Кладина звездчатая (<i>Cladina stellaris</i>)
ДПП-15	<i>Автоморфная</i> дерново-подзолистая песчаная	Плеурозиум Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i>)
ДПП-16	Автоморфная дерново-подзолистая песчаная	Дикранум метловидный (<i>Dicranum scoparium</i>)
ДПП-17	Автоморфная дерново-подзолистая песчаная	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)
ДСг-1	<i>Полугидроморфная</i> аллювиальная дерново-глеявая суглинистая	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)
ДСп-1	<i>Полугидроморфная</i> аллювиальная дерновая супесчаная	Морошка (<i>Rubus chamaemorus</i>)
Т-1	<i>Гидроморфная</i> торфяно-болотная	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)
Т-2	<i>Автоморфная</i> торфянистая	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)

Травяную растительность срезали на высоте (3–4) см над поверхностью почвы с площади не менее 1 м². Образцы почв отбирали на глубину 10 см от поверхности. В лабораторных условиях из почвы отбирали остатки растений, затем ее тщательно перемешивали, просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм и сушили при температуре 303–313 К. Растительность измельчали и также тщательно перемешивали. Последняя стадия подготовки почвенных и растительных образцов к исследованию на содержание радия состояла в термической минерализации проб при температуре 873–923 К.

Содержание радия в образцах определяли методом радиохимического анализа, разработанным в НИЛ радиохимии БГУ, с использованием в качестве индикатора выхода радия гамма-излучающий радионуклид ¹³³Ba. Идентифицировали радий низкофоновыми детекторами 576 А-600 RV и 576 А-600 RV на альфа-спектрометре АРНА KING 676 А [3]. Средняя квадратичная погрешность определения активности ²²⁶Ra в образцах почвы не превышала 9 %, а в пробах растительности – 17 % с доверительной вероятностью 95 % при условии подчинения полученных значений распределению Гаусса.

Содержание органических компонентов в образцах, полную влагоемкость почв и другие показатели определяли по стандартным методикам.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки биологическую доступность радия растениям использова-

лись традиционно применяемые для этих целей параметры: коэффициенты накопления, биологического поглощения и перехода.

Коэффициент накопления (КН) – отношение удельной активности сухой растительной биомассы (A_p , Бк/кг) к удельной активности сухой почвы в области корневого питания растений ($A_{п}$, Бк/кг).

Коэффициент биологического поглощения (КБП) – отношение удельной активности растительной золы ($A_{pз}$, Бк/кг) к удельной активности почвы, прокаленной на воздухе при температуре 873–923 К ($A_{пз}$, Бк/кг).

Коэффициент перехода (КП) – отношение удельной активности сухой растительной биомассы (A_p , Бк/кг) к активности почвы в расчете на единицу поверхности (A_s , Бк/м²). Коэффициент перехода в отличие от безразмерных коэффициентов КН и КБП имеет размерность (КП, м²/кг). Кроме того, он не зависит от плотности почвы.

Почвенные образцы представлены разновидностями дерново-подзолистых, аллювиальных дерновых и торфяно-болотных почв. Содержание органических компонентов в почвах варьирует в интервале от 2,4 до 77 вес. %, значения рН_{KCl} – от 3,6 до 6,4. Полная влагоемкость почвенных образцов составляет 30–570 %, т. е. в состоянии водонасыщения 1 кг твердой фазы удерживает от 0,3 до 5,7 кг поровой влаги.

Следует отметить, что торфянистая почва (участок Т-2) отличается сравнительно высокой (72 %) степенью минерализации и по своим свойствам приближается к минеральным разновидностям почв.

Результаты определения удельной ($A_{п}$) и поверхностной (A_s) активности почв представлены в табл. 3.

Таблица 3

Удельная и поверхностная активность почв по ²²⁶Ra

Участок	$A_{п}$ (²²⁶ Ra), Бк/кг*	A_s (²²⁶ Ra), Бк/м ²
ДПП-14	10,1 ± 0,7	910 ± 70
ДПП-15	10,2 ± 0,9	1 080 ± 90
ДПП-16	8,3 ± 0,6	810 ± 60
ДПП-17	14 ± 1	1 340 ± 90
ДСг-1	19 ± 1	1 980 ± 140
ДСп-1	29 ± 3	2 600 ± 200
Т-1	4,5 ± 0,3	160 ± 10
Т-2	26 ± 2	1 280 ± 90

* в расчете на абсолютно сухие образцы.

Данные по удельной активности растительности: абсолютно сухих проб (A_p) и растительной золы ($A_{pз}$) по ²²⁶Ra, а также по зольности сухих растительных проб (Z_p) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Удельная активность по ^{226}Ra и зольность растительных образцов

Участок	Вид растительности	З _p , %	A _p (^{226}Ra), Бк/кг	A _{pз} (^{226}Ra)
ДПП-14	Кладина звездчатая (<i>Cladina stellaris</i>)	4,0	3,1 ± 0,4	78 ± 11
ДПП-15	Плеурозиум Шребера (<i>Pleurozium</i>)	4,6	2,6 ± 0,4	56 ± 8
ДПП-16	Дикранум метловидный (<i>Dicranum</i>)	7,6	3,1 ± 0,4	41 ± 6
ДПП-17	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)	5,6	0,26 ± 0,04	4,6 ± 0,8
ДСг-1	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)	6,1	1,9 ± 0,3	31 ± 5
ДСп-1	Морошка (<i>Rubus chamaemorus</i>)	13,3	8,0 ± 0,9	60 ± 7
Т-1	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)	4,7	4,3 ± 0,6	92 ± 13
Т-2	Осока острая (<i>Carex acuta</i>)	5,7	1,6 ± 0,2	28 ± 4

По удельной активности растительных проб (сухих и термически озолненных) и сопряженных с ними образцов почвы (сухих и прокаленных), с учетом поверхностной активности почв по ^{226}Ra , рассчитаны коэффициенты КН, КБП и КП. В рассматриваемых системах «почва – растение» коэффициент КН варьирует в пределах от 0,019 до 1,0; коэффициент КБП – от 0,3 до 8; коэффициент КП – от $0,2 \cdot 10^{-3}$ до $27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{кг}$ (рис. 1 а–в).

Из полученных данных следует, что видовая принадлежность растений и тип почвы, на которой они произрастают, существенно влияют на биологическую доступность радия. При поступлении радия из однотипных дерново-подзолистых песчаных почв (участки ДПП-14–ДПП-17) в растения разных видов величины коэффициентов КН, КБП и КП для осоки острой значительно ниже соответствующих коэффициентов для растений, принадлежащих семейству мхов и лишайников (кладины звездчатой, плеврозиума Шребера, дикранума метловидного. Среди представителей мхов и лишайников максимальная биологическая доступность радия обнаружена у дикранума метловидного, произрастающего на почве с самым низким значением рНКС1 (3,6).

С учетом величины коэффициента КП ($\text{м}^2/\text{кг}$) для произрастающей на почвах разного типа осоки острой (приведена в скобках) изученные почвы можно расположить в следующей последовательности по увеличению биологической доступности радия: автоморфная дерново-подзолистая песчаная ($(0,19 \pm 0,05) \cdot 10^{-3}$) – полугидроморфная аллювиальная дерново-глеевая ($(1,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$), автоморфная высокоминерализованная торфянистая ($(1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-3}$) – гидроморфная торфяно-болотная ($(27 \pm 6) \cdot 10^{-3}$).

В целом, с увеличением степени гидроморфности почвы прослеживается тенденция к увеличению биологической доступности ^{226}Ra осоке острой. Увеличение кислотности почвенной среды также способствует накоплению радия растительностью. В частности, осока острая из всех почв, на которых она произрастает, в максимальной степени усваивает радий из почвы с минимальным рНКС1, равным 4,3.

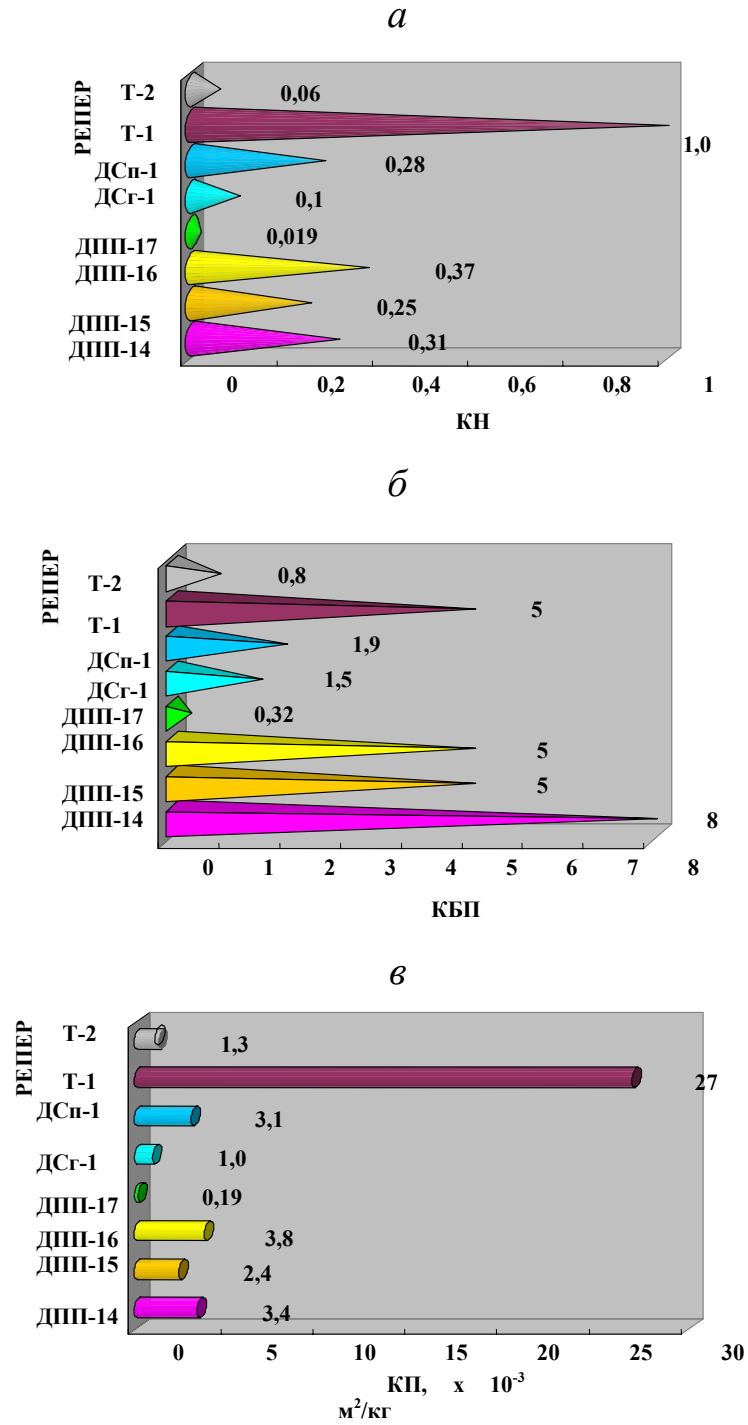


Рис. 1. Параметры, характеризующие биологическую доступность ^{226}Ra растениям:
a – коэффициенты накопления (КН);
б – коэффициенты биологического поглощения (КБП);
в – коэффициенты перехода (КП) ^{226}Ra из почвы в растения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценены параметры миграции ^{226}Ra из почвы в травяную растительность природных экосистем Беларуси при фоновых уровнях содержания радия в почвенном покрове. Показано, что биологическая доступность радия растениям зависит от особенностей почвенной среды и видовой принадлежности растения. Увеличение гидроморфности почвы и кислотности почвенной среды способствует накоплению радия растительностью. При произрастании на однотипных почвах растения, принадлежащие семейству мхов и лишайников, в большей степени накапливают радий, чем представители семейства осоковых.

Полученные данные составляют основу для оценки доз облучения населения, проживающего в различных регионах Беларуси, от естественных радионуклидов, проникающих в организм человека по трофическим цепям через звено «почва – растение».

Литература

1. *Jonson B. L. & De Rossa K.* The toxicological hazard of superfund hazardous – vast sites // *Reviews on environmental health.* 1997. Vol. 12. N 4. P. 235–254.
2. ГН 2.6.1.8 – 27-2000 Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). Мн.: Министерство здравоохранения РБ, 2002.
3. *Войникова Е. В., Попеня М. В., Гаркуша Е. В.* Формирование осадка сульфата бария при проведении радиохимического анализа радия // Сб. работ 65-ой научной конференции студентов и аспирантов БГУ. Минск, 2008. Ч. II. С. 259–262.

СОВМЕЩЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ДРУГИМИ ПОЛИМЕРАМИ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ ОРТОФOSФОРНОЙ КИСЛОТЫ

А. Н. Гончар

Переработка растворов смесей целлюлозы с синтетическими полимерами является одним из перспективных способов получения модифицированных волокон, пленок, мембран и других изделий. Проблема в данном случае заключается в нахождении эффективной растворяющей системы, пригодной для получения растворов обоих смешиваемых полимеров, не представляющей угрозу загрязнения окружающей среды.

Применение в качестве растворителя целлюлозы водных растворов ортофосфорной кислоты, являющихся одновременно растворителем и других высокомолекулярных соединений, открывает широкие возможности для их совмещения с целлюлозой и последующего изготовления комбинированных материалов, обладающих свойствами обоих смешиваемых компонентов.