

УДК 577.39:637.07:539.1.047:614.876

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ^{210}Pb И ^{210}Po В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ И ИХ ВКЛАД В ДОЗОВУЮ НАГРУЗКУ ЖИТЕЛЕЙ ЮГО-ВОСТОКА БЕЛАРУСИ

Клементьева Е. А.

*ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь
E-mail: kalya-klem@outlook.com*

Качество природных вод, используемых человеком, является одним из приоритетных факторов его нормальной жизнедеятельности. Установлено содержание ^{210}Po в пробах природных вод в пределах 0,01–0,26 Бк/кг. В единичных образцах обнаружено превышение уровня вмешательства для этого радионуклида (0,12 Бк/кг). Содержание ^{210}Pb в исследуемых образцах составило 0,006 – 0,15 Бк/кг и удовлетворяет национальным нормам для питьевой воды, полученные значения ниже уровня вмешательства (0,20 Бк/кг). Получены результаты оценки среднего годового потребления радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po с питьевой водой для различных возрастных групп населения.

Ключевые слова: свинец-210, полоний-210, природные воды, годовая эффективная доза

ВВЕДЕНИЕ

Природные условия Республики Беларусь благоприятны для накопления и возобновления ресурсов подземных вод. Этому способствуют повсеместное распространение мощной толщи осадочных водопроницаемых отложений, влажный климат, благоприятные условия инфильтрации атмосферных осадков, тесная гидравлическая взаимосвязь поверхностных и подземных вод.

Подземные воды относятся к категории полезных ископаемых, отличительной особенностью которых от других видов является их возобновляемость, динамичность ресурсов, тесная зависимость их количества и качества от изменчивых природно-климатических и антропогенных факторов.

Ресурсы пресных подземных вод на территории Республики Беларусь распространены повсеместно и связаны с разновозрастными геологическими формациями. Имеется 13 водоносных горизонтов, которые используются или могут использоваться для централизованного водоснабжения. Мощность водоносных слоев пресных вод в разных районах Беларуси в целом варьирует от 50–150 до 400–450 м и более.

В Беларуси централизованное водоснабжение городов, городских и сельских поселков и промышленных предприятий базируется на использовании пресных подземных вод с утвержденными эксплуатационными запасами, приуроченными к водоносным горизонтам и комплексам четвертичных и дочетвертичных отложений

зоны активного водообмена, и осуществляется путем эксплуатации как групповых водозаборов, так и одиночных скважин.

Артезианские подземные воды являются резервным источником воды для нужд населения в чрезвычайных и кризисных ситуациях. Состав и состояние природных вод под влиянием различных факторов могут претерпевать серьезные изменения. Как правило, переход радионуклидов из вмещающих пород в воду является результатом таких процессов, как растворение неустойчивых минералов и выщелачивание, т. е. переход элементов из минерала в раствор без нарушения целостности кристаллической решетки. Вследствие этого происходит нарушение радиоактивного равновесия в рядах урана ($^{238,235}\text{U}$) и тория (^{232}Th), обусловленное различиями в миграционных характеристиках и геохимических свойствах радиоактивных элементов и их изотопов, т. е. в водах, в отличие от горных пород и почв, соотношения между разными радионуклидами и изотопами одного элемента могут отличаться от равновесных в десятки и сотни раз. Солевой и радионуклидный состав природных вод варьирует в очень широком диапазоне, в зависимости от типа вод (речные, озерные, грунтовые, подземные), климатических условий преобладание осадков или испарения), состава вмещающих пород, тектонических особенностей района. При этом, как правило, природная радиоактивность обусловлена, прежде всего, присутствием изотопов урана ($^{238,234}\text{U}$), радия ($^{226,228,224}\text{Ra}$), радона ($^{222,220}\text{Rn}$), полония (^{210}Po), свинца (^{210}Pb), калия (^{40}K). Содержание тория (^{232}Th) в водах весьма низкое, но могут встречаться повышенные активности менее долгоживущих изотопов ($^{228,230}\text{Th}$). Диапазон вариаций природных содержаний одного радионуклида даже в водах одного типа в пределах одной климатической зоны может достигать одного порядка, а в разных климатических зонах – 2-4 порядков.

Определение естественных и техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды (в воздухе, в природных водах и почвах, в продуктах питания и т. п.) позволяет оценить возможную опасность радиационного воздействия на здоровье человека. В то же время исследование распределения радионуклидов в окружающей среде может дать ценную информацию о происходящих в ней процессах [1]. Для обеспечения радиационной безопасности питьевого водоснабжения населения необходима информация об удельной активности радионуклидов, присутствующих в питьевой воде. В соответствии с рекомендациями ВОЗ в действующих нормативных документах установлены жесткие требования к содержанию радионуклидов и к порядку проведения радиационного контроля питьевой воды. Проведение радиационного контроля воды является сложной задачей, поскольку сама вода является сложным объектом для анализа.

По данным НКДАР ООН, вклад питьевой воды в суммарную дозу облучения населения обусловлен, в основном, присутствующими в воде радионуклидами природных рядов урана и тория. Наибольший вклад в формирование дозы облучения за счет потребления питьевой воды вносят изотопы урана (^{238}U и ^{234}U), радия (^{226}Ra и ^{228}Ra), радон (^{222}Rn) и полоний-210 (^{210}Po), в меньшей степени – свинец-210 (^{210}Pb) и изотопы тория (^{228}Th , ^{230}Th , ^{232}Th) [2].

Содержащиеся в воде радионуклиды поступают в биологические объекты – растения, организмы животных и человека – и оказывают влияние на формирование дозы облучения населения. Сравнительно недавно поведению ^{210}Pb в биосфере стали уделять особое внимание. Бета-излучающий ^{210}Pb – высокотоксичный радионуклид, к содержанию которого в питьевой воде предъявляются жесткие требования (уровень вмешательства – 0,20 Бк/кг).

К числу радиотоксичных природных радионуклидов принадлежит альфа-излучающий ^{210}Po ($T_{1/2}$ – 138,4 сут.), являющийся одним из последних радионуклидов в ряду распада ^{238}U . Он образуется в результате двух последовательных электронных бета-распадов ^{210}Pb по схеме:



Ядро ^{210}Po испускает альфа-частицы с энергией 5,3 МэВ, превращаясь в стабильный нуклид ^{206}Pb . При содержании радионуклида ^{210}Po в воде питьевого назначения 0,12 Бк/кг (уровень вмешательства) должны предприниматься специальные меры по очистке воды от этого радионуклида.

Качество природных вод, используемых человеком, является одним из приоритетных факторов его нормальной жизнедеятельности. Поэтому изучению поведения и техногенных, и естественных радионуклидов в природных водах и компонентах окружающей среды, откуда они могут поступать в источники питьевого водоснабжения населения, уделяется значительное внимание исследователями многих стран. В качестве основных источников водоснабжения населения используются поверхностные (речные, озерные), грунтовые (колодезные) и воды скважинного водоподъема (артезианские).

Цель исследования – оценить содержание радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в образцах природных вод, которые используются в качестве источников питьевой водоснабжения, сравнить полученные данные с нормативами для питьевой воды, установленными в Беларуси, и оценить дозы внутреннего облучения населения юго-восточного региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили образцы поверхностных и подземных вод, отобранные на территории Гомельской и Могилевской областей в 2008–2011 гг.

Содержание радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в пробах природных вод определялось по методике [3], в соответствии с которой ^{210}Po осаждался на полированный медный диск из солянокислого раствора после разрушения органических компонентов и концентрирования анализируемой пробы. Излучение регистрировалось альфа-спектрометром Alpha Analyst фирмы «Canberra» с полупроводниковыми детекторами типа А 450–20АМ Alpha Pips. Эффективность регистрации альфа-излучения радионуклида детекторами составляла 30%, минимальная детектируемая активность радионуклида (МДА) – 1×10^{-3} Бк на пробу. Результаты измерений

математически обрабатывались с помощью пакета прикладных программ «Genie 2000 Alpha-арех». В оставшемся растворе после выделения ^{210}Po осаждался ^{210}Pb с применением в качестве носителя радионуклида стабильного свинца. После осаждения ^{210}Pb и подготовки счетных мишеней с помощью радиометра LB-770PC («Berthold», Германия) определялась активность дочернего изотопа ^{210}Bi , по которой оценивалась активность ^{210}Pb (МДА – 0,033 Бк на пробу).

Относительные неопределенности анализа проб вод на содержание ^{210}Pb в большинстве случаев не превышали 20%, а ^{210}Po – 25 % при доверительной вероятности 0,95.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты анализа водных проб с указанием среднего значения, стандартного отклонения, минимума и максимума представлены в таблице 1.

Результаты исследований показали, что самое низкое среднее содержание исследуемых радионуклидов (^{210}Pb – 0,023, ^{210}Po – 0,017 Бк/кг) свойственно водам поверхностных водоемов, а самое высокое (^{210}Pb – 0,080, ^{210}Po – 0,070 Бк/кг) – пробам воды скважинного водоподъема (артезианские). Пониженное по сравнению с другими видами природных вод содержание ^{210}Po в поверхностных водах может быть связано с высокой склонностью радионуклида к образованию положительно заряженных коллоидных частиц при характерных для этих вод pH 6–7. Эти частицы могут легко захватываться отрицательно заряженной поверхностью присутствующих в воде в коллоидном состоянии глинистых минералов и вместе с ними оседать на дно водоемов.

Таблица 1
Содержание ^{210}Pb и ^{210}Po в природных водах (Бк/кг)

Пробы воды (количество проб)	Среднее значение	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
Свинец-210				
Поверхностные (10)	0,023	0,031	0,011	0,110
Грунтовые (10)	0,055	0,018	0,031	0,092
Артезианские (35)	0,080	0,034	0,006	0,150
Полоний-210				
Поверхностные (10)	0,017	0,013	0,011	0,053
Грунтовые (10)	0,049	0,023	0,021	0,093
Артезианские (35)	0,070	0,048	0,010	0,260

В ходе выполнения исследования было установлено, что содержание ^{210}Po в пробах природных вод находятся в пределах 0,01–0,26 Бк/кг. В некоторых образцах обнаружено превышение уровня вмешательства для этого радионуклида (0,12 Бк/кг). Содержание ^{210}Pb составило 0,006–0,15 Бк/кг и удовлетворяет национальным

нормам для питьевой воды, потому что эти значения ниже уровня вмешательства (0,20 Бк/кг).

Проведено изучение распределения радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в артезианских водах в зависимости от глубины вскрытия скважин (Рис. 1).

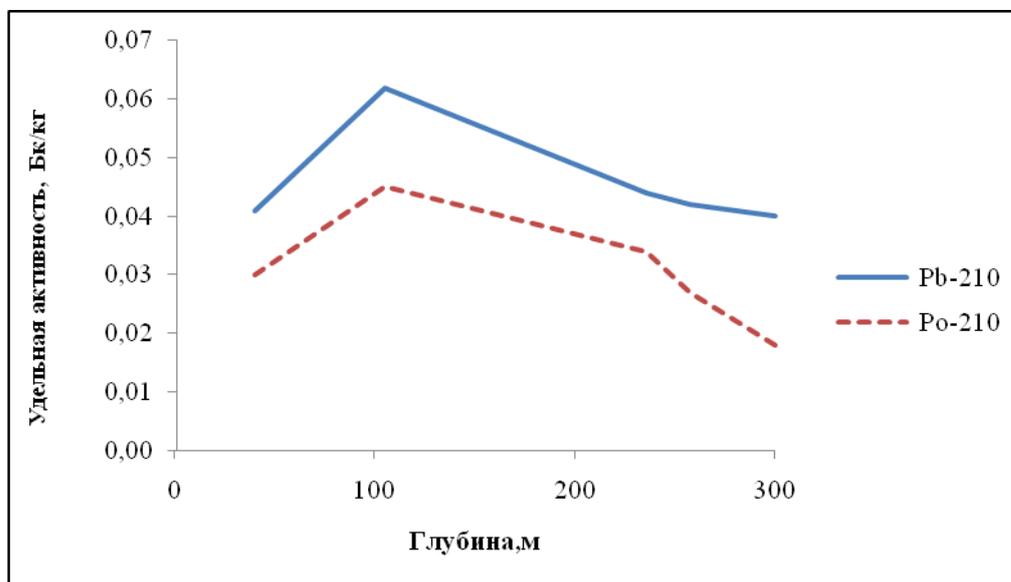


Рис.1. Содержание радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в артезианских водах в зависимости от глубины их залегания

Глубина исследуемых артезианских скважин составляла от 40 до 300 м. Содержание исследуемых радионуклидов варьировало в широких пределах. Максимальное содержание ^{210}Pb и ^{210}Po в артезианских водах юго-восточного региона Беларуси отмечено при глубине вскрытия около 100 м.

Информации о содержании радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в рационе жителей Республики Беларусь в настоящее время мало. В этой работе исследовано содержание ^{210}Pb и ^{210}Po в питьевой воде и проведена оценка вклада в эффективную дозу внутреннего облучения для населения юго-восточного региона Беларуси от данного источника. Оценка эффективных доз была рассчитана для 3 групп населения (< 1 год, 1–10 лет, > 10 лет). Годовая эффективная доза внутреннего облучения каждой группы населения в результате поступления радионуклида в организм с питьевой водой рассчитана с помощью формулы:

$$D_i = C_i \times I \times Q,$$

где D_i (мкЗв/год) – среднегодовая эффективная доза, обусловленная поступлением i -го радионуклида в организм членов рассматриваемой группы населения с питьевой водой; C_i – среднеарифметическое значение удельной

активности питьевой воды по i -му радионуклиду (Бк/кг); I – годовое потребление воды (кг/год); Q – дозовый коэффициент для рассматриваемого радионуклида при его пероральном поступлении в организм, мкЗв/Бк (таблица 2).

Таблица 2
Дозовые коэффициенты, рекомендованные НКДАР ООН [4]

Q , мкЗв/Бк	< 1 года	1–10 лет	> 10 лет
$Q(^{210}\text{Pb})$	3,6	1,9	0,7
$Q(^{210}\text{Po})$	8,8	2,6	1,2

В таблице 3 приведены результаты оценки среднего годового потребления радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po с питьевой водой для исследуемых возрастных групп. Анализ показывает, что употребление ^{210}Pb с питьевой водой для населения юго-восточного региона составляет 6–19 Бк. Это составляет 2–7 % предела годового поступления для ^{210}Pb (ППП) с пищей и водой (280 Бк) [5]. В то же время поступление ^{210}Po (4–14,5 Бк) с питьевой водой в исследуемых группах населения составило 4–13 % республиканского ППП для ^{210}Po с пищей и водой (110 Бк).

Таблица 3
Среднее годовое поступление ^{210}Pb и ^{210}Po с питьевой водой, эффективная доза для каждой возрастной группы населения юго-восточного региона Беларуси

Возрастные группы	Поступление, Бк/год		Эффективная доза, мкЗв/год	
	^{210}Pb	^{210}Po	^{210}Pb	^{210}Po
< 1 года	5,70	4,35	20,52	38,28
1–10 лет	13,30	10,15	25,27	26,39
> 10 лет	19,00	14,50	13,30	17,40

Эффективные дозы для изученных возрастных групп населения юго-восточного региона Беларуси при поступлении ^{210}Pb и ^{210}Po в организм с питьевой водой приведены в таблице 3.

Согласно данным НКДАР ООН (2000 г.) [4], среднегодовая эффективная доза облучения среднестатистического жителя Земли учитывает воздействие радиации естественных и техногенных источников излучения: соответственно 2,0 мЗв и 0,421 мЗв; в сумме – 2,421 мЗв. При этом естественное (природное) облучение складывается из «земного» (1,675 мЗв) и «космического» (0,315 мЗв). В составе «земного» облучения 1,325 мЗв приходится на долю внутреннего облучения. К сожалению, аналогичная достоверная информация о структуре облучения жителей Гомельской области или Республики Беларусь за счет всех источников ионизирующего излучения отсутствует. Расчетная в результате проведенной работы годовая эффективная доза внутреннего облучения в результате поступления ^{210}Pb и ^{210}Po с питьевой водой составляет 2–3,5 % от дозы внутреннего облучения среднего человека на Земле. Развитие направления исследования содержания радионуклидов

^{210}Pb и ^{210}Po не только в питьевой воде, но и в других компонентах экосистем юго-восточного региона Беларуси представляют интерес для получения информации о формировании внутреннего облучения жителей за счет всех источников ионизирующего излучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопрос о содержании естественных радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в питьевой воде не был глубоко изучен в Беларуси. Имеющиеся в настоящее время данные очень фрагментарны. В данной работе с использованием современных радиохимических методов анализа и идентификации радионуклидов получены данные о содержании ^{210}Pb и ^{210}Po в питьевой воде юго-восточного региона Беларуси.

В ходе выполнения исследования было установлено, что содержание ^{210}Po в пробах природных вод юго-восточного региона Беларуси находятся в пределах 0,01–0,26 Бк/кг. В некоторых образцах обнаружено превышение уровня вмешательства для этого радионуклида (0,12 Бк/кг). Содержание ^{210}Pb в исследуемых образцах составило 0,006–0,15 Бк/кг и удовлетворяет национальным нормам для питьевой воды, потому что эти значения ниже уровня вмешательства (0,20 Бк/кг).

В рамках исследования проведено изучение распределения радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в артезианских водах. Проанализирована зависимость содержания ^{210}Pb и ^{210}Po от глубины вскрытия скважин. Содержание исследуемых радионуклидов варьировало в широких пределах. Максимальные значения содержания радионуклидов в артезианских водах отмечены при глубине вскрытия скважин около 100 м.

Получены результаты оценки среднего годового потребления радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po с питьевой водой для различных возрастных групп населения. Установлено, что поступление ^{210}Pb с питьевой водой в организм населения юго-восточного региона составляет 6–19 Бк. Этот показатель составляет 2–7 % установленного республиканского предела годового поступления для ^{210}Pb (ППП) с пищей и водой (280 Бк). В то же время поступление ^{210}Po (4–14,5 Бк) с питьевой водой для исследуемых групп населения составило 4–13 % республиканского ППП для ^{210}Po с пищей и водой (110 Бк).

Изучение содержания и поведения радионуклидов ^{210}Pb и ^{210}Po в водных источниках Беларуси и других компонентах экосистем представляет интерес и требует дальнейшего исследования.

Список литературы

1. Сапожников, Ю.А. Радиоактивность окружающей среды [Электронный ресурс] : теория и практика / Ю.А. Сапожников, Р.А. Алиев, С.Н. Калмыков. — 2-е изд. (эл.). — Электрон. текстовые дан. (1 файл pdf : 289 с.). — М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — (Методы в химии).
2. Инструкция 2.6.1.10-12-22-2006 Оценка индивидуальных доз облучения населения, за счет природных источников ионизирующего излучения. — Мн., 2006.

3. МВИ. Мн 2608-2006. «Методика определения удельной активности естественных радионуклидов (полония-210, свинца-210, радия-224, радия-226, радия-228) в пробах поверхностной и питьевой воды».
4. UNSCEAR (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Ionizing (2000). Sources and effects of ionizing radiation, New York: Report to the General Assembly with Annex.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000) ГН 2.6.1.8 – 127.-2000.-124с.

EVALUATION OF THE CONTENT OF ^{210}Pb AND ^{210}Po RADIONUCLIDES IN NATURAL WATERS AND THEIR CONTRIBUTION INTO THE DOSE OF SOUTH-EASTERN BELARUS

Klementjeva E. A.

*Institute of Radiobiology of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus
E-mail: katya-klem@outlook.com*

Natural water is a complex object radioecological study. Its chemical and radionuclide composition depends on the type of soil, structural and morphological and chemical composition of the surrounding rocks, geomorphology watershed, climatic conditions, and the level and specificity anthropogenic impacts on natural systems. Relations between radionuclides in water natural sources may differ significantly from the equilibrium.

The main influence on the behavior of radionuclides in natural waters exerts chemical characteristics elements. Since all of the products of radioactive decay series of uranium and thorium are in nature in ultrasmall concentrations, no less a role in their behavior plays a hydrochemical isotopic and non-isotopic presence of carriers of radionuclides, as well as the ability to form dilute solutions radiocolloids. Daughter of radionuclides decay products it is recoil atoms that eases the transition to a solution of the solid phase.

Radionuclides in the water intake in biological objects - plants, animals and humans, and have an impact on the formation of the radiation dose of the population. The quality of natural water used by humans is one of the priority factors of its normal life. Is therefore studying the behavior of anthropogenic and natural radionuclides in natural waters and environmental components where they can enter the water supply sources of the population, received considerable attention by researchers in many countries. The main water supply sources of the population uses surface (river, lake), ground (soaking pits) and water borehole water lift (artesian).

The goal of the work is assessment of activity concentrations of ^{210}Pb and ^{210}Po in the samples of natural waters, which are used as the sources of drinking water and comparison the received data with standards for drinking water established in Belarus (RPL-2000). The objects of the investigation were the surface and ground waters, which were sampled within the territory of Gomel and Mogilev regions in 2008-2011.

The content of radionuclides ^{210}Pb and ^{210}Po in water samples were determined by the method [1] according to which the polonium was deposited on a polished copper disk of a hydrochloric acid solution. The emission ^{210}Po was recorded alpha spectrometer

AlphaAnalyst company «Canberra» with semiconductor detectors type A 450-20 AM AlphaPips. The efficiency of detection of alpha radiation radionuclide was 30%, MDA – 0.001 Bq per sample. The results of the alpha spectrometric measurements mathematically processed using the application package «Genie 2000 Alpha-apex». Further in the solution was precipitated using a lead carbonate as a carrier of radionuclide stable lead. After 20-25 days radiometer LB-770PC («Berthold», Germany) activity was measured ^{210}Bi , which evaluated the activity of the parent radionuclide ^{210}Pb . The minimum detectable activity (MDA) ^{210}Bi was 0.033 Bq per sample.

The activity concentrations of natural radionuclides in drinking water are not usually studied in Belarus. Available data ^{210}Pb and ^{210}Po in these samples is very small. In this paper, the ^{210}Pb and ^{210}Po activity concentrations were determined in more than 50 water sources. The data obtained may provide information about the background activity concentrations of ^{210}Pb and ^{210}Po help increase database of natural radioactivity in Belarus.

It was established that activity concentrations of radionuclides in the water samples are within the limits for ^{210}Po in the water samples and varies in the range 0.01–0.26 Bq·kg⁻¹. But in some water samples it was higher than the intervention level for this radionuclide that is equal to 0.12 Bq·kg⁻¹. Activity concentration of ^{210}Pb in water samples was 0.006–0.15 Bq·kg⁻¹ and corresponds to operating standard for drinking water because it is lower than intervention level (0.20 Bq·kg⁻¹).

Obtained data shows that distribution of radionuclides in the ground waters depend on the depth of artesian well. Activity of ^{210}Pb and ^{210}Po in groundwater varies within wide limits with changes of depth. The maximum concentration of the radionuclides is in artesian water of the Gomel and Mogilev regions sampled at a depth of about 100 meters.

The calculated total annual effective dose of internal exposure as a result of ingestion of ^{210}Pb and ^{210}Po in the human body with drinking water is 2-3.5% of the internal dose of the average inhabitant of the Earth.

The study of the activity concentrations of ^{210}Pb and ^{210}Po in water sources of Belarus is of interest and requires further research.

Keywords: lead-210, polonium-210, natural waters, annual effective dose.

References

1. Sapozhnikov Yu. A., Aliyev R. A., Kalmykov S. N. Environment radioactivity [Electronic resource]: theory and practice, Electron. text it is given. (1 PDF file: 289 p), Moscow, BINOM, Laboratory of knowledge, (2015), (Methods in chemistry) <http://files.lbz.ru/pdf/cC2791-1-ch.pdf>
2. The instruction 2.6.1.10-12-22-2006 Assessment of individual doses of radiation of the population, at the expense of natural sources of ionizing radiation, Minsk (2006).
3. 2608-2006, Methods of determining the specific activity of natural radionuclides (polonium-210, lead-210, radium-224, radium-226, radium-228) in samples of surface and drinking water Minsk (2006)
4. UNSCEAR (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Ionizing (2000). Sources and effects of ionizing radiation, New York: Report to the General Assembly with Annex.
5. Radiation Safety Standards (RSS-2000), Minsk, 124 (2000).

Поступила в редакцию 15.10.2015 г.