

## О нормировании показателей радиационной безопасности минеральных природных вод

И.П. Стамат, В.В. Ступина

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с нормированием показателей радиационной безопасности минеральных природных вод. Показано, что классификация минеральных природных вод по их назначению, принятая в ГОСТ Р 54316-2011, близка к их классификации в странах Евросоюза. Приведено обоснование подходов к нормированию содержания природных радионуклидов в минеральных природных водах и показано, что с позиций комплексной безопасности более приемлемым для этих целей является использование численных значений уровней вмешательства для отдельных радионуклидов по НРБ-99/2009 по сравнению с их значениями, приведенными в Руководстве по контролю качества питьевой воды Всемирной организации здравоохранения.*

Ключевые слова: вода питьевая, минеральные природные воды (столовые, лечебно-столовые, лечебные), природные радионуклиды, радио- и химическая токсичность урана, эффективная доза облучения населения за счет потребления воды.

### Введение

Проблема нормирования качества и безопасности питьевой воды является комплексной, и при ее решении должны учитываться по возможности все основные характеристики, определяющие ее безвредность для организма человека. Нормирование показателей безопасности минеральных природных вод является еще более сложным, поскольку любая корректировка их состава в сторону «улучшения» одновременно приводит к изменению ее минерального и химического состава, других свойств и неизбежно – к снижению потребительских и бальнеологических характеристик воды [1]. Поэтому при установлении требований к показателям радиационной безопасности воды источников питьевого водоснабжения населения в НРБ-99/2009 [2] минеральные природные воды выделены в отдельную категорию вод, требующую специального рассмотрения. Разными являются подходы к установлению требований к показателям радиационной безопасности воды источников питьевого водоснабжения населения и к минеральным природным водам используются и в странах Евросоюза [3].

Кроме того, при установлении ограничений на содержание отдельных радионуклидов в питьевой и минеральных природных водах должна учитываться также токсичность некоторых из них как химических элементов. Наиболее хорошо изучена и достаточно всесторонне обоснована необходимость этого в отношении урана, хотя для ряда других радионуклидов она не менее актуальна [4–6]. Заметим, что в минеральных природных водах наиболее распространенными являются два изотопа радия –  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{228}\text{Ra}$ , а также два изотопа урана –  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ .

Учитывая изложенное, в настоящей статье сделана попытка обосновать подходы к нормированию содержания радионуклидов в минеральных природных водах с учетом их классификации, радио- и химической токсичности урана, а также требований НРБ-99/2009 и рекомендаций [6] по установлению УВ для отдельных радионуклидов в воде источников питьевого водоснабжения населения.

### Классификация минеральных природных вод

В научной литературе существуют различные подходы к классификации минеральных природных вод. Классификация минеральных природных вод основывается на различных показателях и их сочетании: минерализации, ионном и газовом составе, температуре, кислотности (щелочности), радиоактивности воды и т.д. Согласно классификации [7], минеральные природные (подземные) воды разделяются по составу, свойствам и лечебному значению на шесть основных бальнеологических групп.

В аспекте настоящей статьи наиболее приемлемая классификация минеральных природных питьевых вод принята в ГОСТ Р 54316-2011 [8], согласно которой минеральные природные воды отнесены к пищевым продуктам и по назначению подразделяются на столовые, лечебно-столовые и лечебные. Минеральные столовые воды – это воды с минерализацией до 1 г/дм<sup>3</sup> включительно; к минеральным лечебно-столовым водам отнесены воды с минерализацией свыше 1 до 10 г/дм<sup>3</sup> включительно или с меньшей минерализацией при наличии в них биологически активных компонентов. К минеральным лечебным водам отнесены воды с минерализацией от 10 до 15 г/дм<sup>3</sup> (редко большей); реже, при наличии в минеральной воде биологически активных компонентов, в качестве лечебных могут использоваться минеральные воды с меньшей минерализацией.

В странах Евросоюза принята классификация минеральных природных вод по их назначению [3], которая по своей сути практически совпадает с их классификацией по ГОСТ Р 54316-2011. Согласно Директиве 2009/54/ЕС, природные минеральные воды делятся на две группы. Первую из них составляют природные минеральные воды, которые относятся к пищевым продуктам, и, соответственно, требования к этим минеральным природным водам регулируются законами для пищевых продуктов. Вторую группу составляют минеральные природные лечебные воды, которые отнесены к фармацевтическим или медицинским продуктам, и, соответ-

ственно, требования к таким водам регулируются фармацевтическими законами и законом для медицинских товаров.

Согласно статье 5 Директивы 2009/54/ЕС, термин «Природная минеральная вода» означает микробиологически цельную воду из подземного водоносного горизонта или месторождения, поступающую на поверхность из природного родника или искусственно пробуренной скважины. Одно из основных требований к минеральным природным водам – они не должны подвергаться вмешательству по отношению к их составу и свойствам – для них должна быть исключена обработка, влекущая изменение физико-химических свойств и состава воды. Природная минеральная вода четко отличается от обычной питьевой воды, во-первых, своим природным составом, характеризующимся содержанием минеральных соединений, ионизированными элементами и другими составляющими, а также некоторыми визуальными наблюдаемыми свойствами; во-вторых, своей первоначальной чистотой. Причем обе эти характеристики и свойства не подлежат никаким изменениям и искусственному вмешательству, поскольку вода эта поступает из-под земли и не подвергается риску загрязнения. Состав, температура и другие основные характеристики природной минеральной воды должны оставаться стабильными в пределах естественных диапазонов флуктуации; они, в частности, не должны меняться в зависимости от изменения дебита источника или скважины.

Аналогичные требования к характеристикам минеральных природных вод установлены и в ГОСТ Р 54316-2011, в котором термин «Минеральные природные питьевые воды» определяется как подземные воды, добытые из водоносных горизонтов или комплексов, защищенных от антропогенного воздействия, сохраняющие естественный химический состав. И далее уточняется, что к минеральным природным водам не относятся смеси подземных вод разных гидрохимических типов, из водоносных горизонтов с разными условиями формирования их гидрохимических типов, смеси минеральных и питьевых вод и т.д.

Таким образом, классификация минеральных природных вод в Директиве 2009/54/ЕС и в ГОСТ Р 54316-2011 отличается только тем, что в первом документе выделены две категории этих вод (лечебные и питьевые), во втором документе их три. Однако принципиальным является то, что в обоих документах разные требования установлены фактически только для двух видов минеральных природных вод по их назначению: используемых в лечебных целях и используемых для питья и приготовления пищи. В определении Директивы 2009/54/ЕС Евросоюза минеральные природные питьевые воды соответствуют минеральным природным столовым и лечебно-столовым водам в соответствии с классификацией ГОСТ Р 54316-2011. Учитывая это, при обосновании требований к показателям радиационной безопасности минеральных природных вод, мы будем придерживаться именно такой классификации, рассматривая отдельно две группы таких вод: минеральные природные лечебные воды и минеральные природные питьевые воды.

### Нормирование содержания радионуклидов в питьевой воде

В Руководстве Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [6] рекомендации по контролю содержания природных и техногенных радионуклидов в питьевой

воде основаны на введении уровней вмешательства (УВ) по объемной активности для отдельных радионуклидов в воде. Численные значения УВ рассчитываются для каждого радионуклида, исходя из того, что при его объемной активности в питьевой воде ниже УВ годовая эффективная доза облучения взрослого населения не превысит 0,1 мЗв. При одновременном присутствии в питьевой воде нескольких радионуклидов указанная дозовая величина не будет превышена, если выполняется следующее условие:

$$\sum_i^N A_i / UB_i \leq 1, \quad (1)$$

где  $A_i$  – объемная активность  $i$ -го радионуклида в воде, Бк/л;

$UB_i$  – соответствующие уровни вмешательства, Бк/л;

$N$  – число радионуклидов, одновременно присутствующих в воде.

При этом в качестве критериев предварительной оценки качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности приняты объемная суммарная альфа- ( $A_\alpha$ ) и бета-активность ( $A_\beta$ ) воды, при значениях которых ниже 0,5 и 1,0 Бк/л соответственно дальнейшие исследования воды не являются обязательными. В случае превышения указанных уровней проводится анализ содержания радионуклидов в воде, и, если условие (1) не выполняется, принимаются меры по снижению радиоактивности воды с учетом принципа оптимизации.

В НРБ-99/2009 данный подход также положен в основу нормирования содержания радионуклидов в питьевой воде, однако все критерии и нормируемые величины вместо объема отнесены к массе воды, что для воды практически не имеет значения, поскольку плотность воды практически равна 1 кг/л. Кроме того, в качестве численного значения удельной суммарной альфа-активности воды принято  $A_\alpha \leq 0,2$  Бк/кг. Наиболее распространенным альфа-активным природным радионуклидом в источниках питьевого водоснабжения минерального происхождения является  $^{226}\text{Ra}$ , точное значение УВ для которого составляет 0,49 Бк/кг. Именно поэтому величина 0,5 Бк/л по объемной суммарной альфа-активности в [6] ориентирована на то, чтобы при первичном контроле радиоактивности воды выявить присутствие  $^{226}\text{Ra}$  в воде в концентрациях, превышающих уровень вмешательства для этого радионуклида. Более жесткое значение 0,2 Бк/кг по величине  $A_\alpha$  в НРБ-99/2009 принято с учетом того, что УВ для альфа-излучающего природного радионуклида  $^{210}\text{Po}$  составляет 0,11 Бк/кг.

Двухступенчатый подход к контролю радиоактивности воды источников питьевого водоснабжения населения, принятый в НРБ-99/2009 и рекомендуемый в Руководстве ВОЗ, оказался очень удобным с точки зрения организации контроля радиационной безопасности питьевой воды и оптимальным в плане затрат на проведение контроля. Однако, хотя вклад питьевой воды в облучение населения невелик, в некоторых случаях этот подход далеко не безупречен в аспекте возможных последствий принятия ошибочных решений по снижению радиоактивности питьевой воды.

Во-первых, открытая сверху область оптимизации для содержания радионуклидов в воде создает серьезные трудности, связанные с принятием решения относительно мероприятий по снижению радиоактивности воды. Не совсем понятно, до какого уровня необходимо снижать

содержание радионуклидов в воде: до выполнения условия (1) или можно ограничиться более высоким уровнем радиоактивности воды. Если потребовать выполнения условия (1), то в некоторых случаях, как, например, в случае с питьевым водоснабжением жителей города Тверь [9], это может оказаться практически невозможным.

Во-вторых, при открытой сверху области оптимизации для содержания радионуклидов в воде в технико-экономическом отношении оптимальным может оказаться снижение радиоактивности воды до уровня, когда правая часть условия (1) будет равняться 10–20 или более. Наконец, открытая область оптимизации вполне допускает подачу населению питьевой воды, для которой условие (1) не выполняется за счет присутствия в воде техногенных радионуклидов. В НРБ-99/2009 оговорок относительно допустимого вклада техногенных радионуклидов в условие (1) для питьевой воды нет, поэтому на практике вполне возможны ситуации, когда основной вклад в радиоактивность питьевой воды вносят техногенные радионуклиды.

Учитывая это, в ОСПОРБ-99/2010 [10] и СанПиН 2.6.1.2800-10 [11] введены более строгие и однозначные требования к показателям радиационной безопасности питьевой воды. Считается, что если условие (1) для воды не выполняется, но при этом выполняется условие:

$$1 < \sum_i^N A_i / YB_i \leq 10, \quad (2)$$

то должны осуществляться мероприятия по снижению содержания радионуклидов в воде с учетом принципа оптимизации.

При этом одновременно для удельной активности техногенных радионуклидов в питьевой воде должно выполняться условие:

$$\sum_k^M A_k / YB_k \leq 1, \quad (3)$$

где  $A_k$  – удельная активность  $k$ -го техногенного радионуклида, Бк/кг;

$YB_k$  – уровни вмешательства для  $k$ -го техногенного радионуклида, Бк/кг;

$M$  – число присутствующих техногенных радионуклидов в воде.

В случае, когда условия (2) и (3) не выполняются, по показателям радиационной безопасности вода из источника считается непригодной для питьевого водоснабжения населения. Поиск и переход на альтернативный источник водоснабжения населения в таких случаях осуществляется в безотлагательном порядке [10, 11].

В таких случаях важным условием для обоснования характера защитных мероприятий является взвешивание пользы и вреда для здоровья населения с учетом результатов исследований воды возможных альтернативных источников по показателям радиационной, биологической, химической безопасности и органолептических свойств, а также возможного ущерба в связи с прерыванием или ограничением водопотребления населения. В контексте настоящей статьи рассмотрим далее фактор химической безопасности питьевой воды. При этом остановимся только на химической токсичности

урана, которая в настоящее время считается наиболее хорошо изученной.

Отметим, что в последней редакции [6] реализована практически такая же идеология, как в ОСПОРБ-99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10: годовая эффективная доза облучения населения за счет содержания радионуклидов в питьевой воде не должна превышать 1 мЗв/год. Однако эта величина как в Руководстве ВОЗ, так и в ОСПОРБ-99/2010 и СанПиН 2.6.1.2800-10 не рассматривается как предел дозы, а применяется для обоснования мероприятий по снижению радиоактивности питьевой воды с учетом других факторов ее безопасности, в том числе химической токсичности отдельных элементов, стоимости мероприятий и т.д. При этом в Руководстве ВОЗ обращается внимание на то, что уровни вмешательства для отдельных природных изотопов урана установлены на основе их радиотоксичности, в то время как для природной смеси изотопов урана следует учитывать химическую токсичность этого элемента, ориентируясь на уровень вмешательства 30 мкг/л.

Кроме разницы в значениях критерия первичной оценки качества питьевой воды по объемной суммарной альфа-активности в [6] и удельной суммарной альфа-активности в НРБ-99/2009, в Руководстве ВОЗ принят логарифмический метод округления численных значений УВ для отдельных радионуклидов. Последнее является принципиальным отличием от НРБ-99/2009, где расчетные значения УВ для радионуклидов приведены по правилам арифметического округления. Как будет показано ниже, логарифмический метод округления численных значений УВ для отдельных радионуклидов может приводить к негативным последствиям при установлении требований к содержанию ряда природных радионуклидов как в питьевых, так и в минеральных природных водах.

### Нормирование содержания урана в воде по химической токсичности

В Руководстве ВОЗ [6] обсуждение вопросов ограничения содержания урана в питьевой воде вынесено в отдельный раздел, что само по себе говорит о важности контроля питьевой воды по данному показателю. Указывается, что суточное поступление урана в организм с пищей обычно составляет 1–4 мкг, поступление с водой чаще всего значительно ниже, но в случае повышенного содержания его в воде источников питьевого водоснабжения населения оно может быть значительно большим. По данным [12], суточное поступление урана с пищей составляет 1–2 мкг.

Для контроля содержания урана в питьевой воде в связи с его химической токсичностью в [6] рекомендуется такая же идеология, как и в случае контроля показателей радиационной безопасности воды. При этом в качестве уровня вмешательства по химической токсичности для смеси изотопов природного урана рекомендуется его содержание на уровне до 30 мкг/л при стандартном потреблении воды 2 л в сутки. При более высоком содержании урана в воде рекомендуется принятие мер по снижению поступления его в организм за счет потребления питьевой воды.

В [6] отмечается, что почки являются наиболее уязвимым органом при пероральном поступлении урана с питьевой водой и пищевыми продуктами, и указывается, что в настоящее время эпидемиологических данных о токсич-

ческом воздействии на организм людей при более низких (чем 1–4 мкг в сутки) уровнях перорального поступления урана недостаточно.

Укажем, что на заре становления гигиенического нормирования радиационной безопасности населения учету токсических свойств урана придавалось значительно большее внимание. Так, в [4] указывается, что при нормировании поступления радионуклидов в организм необходимо учитывать их токсические свойства как химических элементов. Приводятся данные о предельно допустимых концентрациях урана в воде из публикаций МКРЗ 1954, 1959 и 1962 гг. с указанием критических органов по химической токсичности урана. Интересно, что рекомендации МКРЗ 1962 г. по ограничению поступлению урана по его токсическим признакам оказались примерно в 25–100 раз более жесткими по сравнению с более ранними. Было установлено, что для растворимых соединений природной смеси изотопов урана и изотопа  $^{238}\text{U}$  токсический эффект воздействия урана на почки как химического элемента преобладает над радиационным воздействием. Также приводятся сведения о том, что при пероральном поступлении урана в организм токсическое воздействие сказывается не только на почках, но и на сердечно-сосудистой системе, кроветворной системе, функциях щитовидной железы, надпочечниках, печени и др. [4].

В нашей стране впервые нормирование содержания урана природного и природного изотопа урана  $^{238}\text{U}$  в воде открытых водоемов и воздухе населенных пунктов по их химической токсичности реализовано в Санитарных правилах 1960 г. [13]. Предел допустимой концентрации природного урана в воде был принят равным 0,05 мг/л, а в воздухе населенных пунктов –  $2 \times 10^{-4}$  мг/м<sup>3</sup>, что в единицах объемной активности составляет около 0,6 Бк/л и 0,0025 Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Эти уровни заметно ниже соответствующих величин, которые приняты в настоящее время в НРБ-99/2009 для удельной активности  $^{238}\text{U}$  в питьевой воде (составляет 3 Бк/кг) и воздуха населенных пунктов (0,04 Бк/м<sup>3</sup>).

Позже в НРБ-69 [14] установлен предел годового поступления природной смеси изотопов урана с водой и пищей для отдельных лиц из населения (персонал группы Б в современном определении) в единицах активности, равным 0,47 мкКюри, что составляет примерно 1400 мг. Однако среднегодовое содержание естественных урана и тория в воде для этой же категории облучаемых лиц установлено не в единицах активности, а в мг/л – 0,1 и 1,7 для тория природного и урана природного соответственно. В НРБ-76 [15] для этой же категории облучаемых лиц среднегодовое содержание природного урана и природного изотопа  $^{238}\text{U}$  в воде также установлено в единицах объемной массы, но уже выше – 1,7 мг/л. Как в НРБ-69 и НРБ-76, так и в НРБ-96 [16] предел годового поступления урана ингаляционным путем для персонала был установлен с учетом его химической токсичности.

В НРБ-96 предел годового поступления урана для населения за счет питьевой воды и пищи также установлен, исходя из его химической токсичности, и принят равным 50 мг. В НРБ-99 [17] предел годового поступления урана ингаляционным путем для персонала 500 мг установлен, исходя из его химической токсичности, а для населения – по его радиотоксичности как при ингаляционном, так и пероральном путях поступления. В НРБ-99/2009 упоминание о химической токсичности урана приводится только при

установлении предела его годового поступления ингаляционным путем для персонала. Остальные регламентируемые величины (предел годового поступления с воздухом и пищей, а также допустимая объемная активность урана в воздухе населенных мест) и уровень вмешательства для питьевой воды установлены по радиотоксичности урана.

Интересно также отметить, что даже в СанПиН 2.3.2.1078-01 [18], который устанавливает требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов, в питьевой воде, минеральных природных водах и напитках по химической токсичности нормируется допустимое содержание только четырех элементов – свинца, мышьяка, кадмия и ртути, в их числе уран не назван.

### Обоснование нормирования содержания радионуклидов в минеральных природных питьевых водах

При обосновании подходов к нормированию содержания радионуклидов в минеральных природных питьевых водах будем исходить из следующих основных предпосылок:

1. Источники минеральных природных вод являются хорошо защищенными, поэтому радиоактивность этих вод обусловлена присутствием только природных радионуклидов.

2. По своему назначению минеральные природные воды подразделяются на лечебные, столовые и лечебно-столовые.

3. Минеральные природные лечебные воды принимаются строго по назначению врача и в ограниченном количестве (отдельными курсами).

4. Минеральные столовые и лечебно-столовые питьевые воды поступают в свободную продажу, поэтому возможности ограничивать их потребление населением практически отсутствуют.

5. Минеральные природные воды не подвергаются корректировке состава перед их использованием по назначению в лечебных целях или розливом в тару для поставки потребителю.

6. Годовое потребление минеральных природных вод для питья и приготовления пищи не превышает стандартного водопотребления взрослого населения 730 кг.

7. При установлении ограничений к содержанию природных радионуклидов в минеральных природных водах должна учитываться токсичность урана как химического элемента.

Из сказанного следует, что основным отличием минеральных столовых и лечебно-столовых питьевых вод от лечебных вод является то, что лечебные воды принимаются строго по назначению врача и в ограниченном количестве. Минеральные столовые и лечебно-столовые питьевые воды поступают в свободную продажу. При этом в соответствии с ГОСТ Р 54316-2011 для лечебных и лечебно-столовых вод маркировка потребительской тары должна содержать сведения о медицинских показаниях [8].

Поскольку минеральные лечебные воды принимаются по назначению врача и в ограниченном количестве и их прием связан с лечебными свойствами этих вод, то очевидно, что вводить ограничения на содержание природных радионуклидов в минеральных лечебных водах нецелесообразно. Аналогично медицинскому облучению населения при назначении лечебных процедур с использованием

минеральных лечебных вод нет необходимости устанавливать пределы доз облучения. При назначении курсов лечения с использованием минеральных лечебных вод должен применяться принцип обоснования назначения процедур путем сопоставления терапевтических (лечебных) выгод, которые они приносят, с радиационным ущербом для здоровья, который может причинить облучение. При обосновании лечебных процедур перед их назначением необходимо выполнить оценку эффективных доз внутреннего облучения разных возрастных групп населения при использовании минеральных природных лечебных вод. По-видимому, целесообразно также провести оценку токсического воздействия при использовании минеральных лечебных вод. Заметим, что Директива ЕС 65/65/ЕЕС [19] устанавливает к лечебным водам такие же требования, как и к другим фармакологическим препаратам.

Для минеральных столовых и лечебно-столовых вод с определенной долей консерватизма (степень консерватизма в данном случае определяется тем, насколько потребление минеральных столовых и лечебно-столовых вод на практике окажется меньше стандартного) требования к ограничению содержания природных радионуклидов можно принять такими же, как для воды источников питьевого водоснабжения. Однако, как уже говорилось, в соответствии с самим определением минеральных природных вод, эти воды при подаче потребителю не подвергаются переработке. В странах Евросоюза минеральная природная вода определена как «природный продукт с первоначальной чистотой из месторождения подземных вод» [3].

Поэтому правильнее всего было бы при нормировании содержания природных радионуклидов в минеральных столовых и лечебно-столовых водах исходить из взвешивания рисков за счет радио- и химической токсичности этих вод. Но поскольку в данном случае речь идет о воздействии этих факторов на достаточно низком уровне по каждому из них, то представляется более эффективным при нормировании показателей радиационной безопасности минеральных столовых и лечебно-столовых вод учитывать токсичность радионуклидов как химических элементов.

Такой подход представляется более приемлемым еще и по той причине, что, как сказано выше, дозовый критерий 1 мЗв/год за счет потребления питьевой воды в ОСПОРБ-99/2010, СанПиН 2.6.1.2800-10 и в Руководстве ВОЗ рассматривается не как предел дозы, а как некоторый уровень, при превышении которого принятие мер по снижению радиоактивности воды является обязательным.

Рассмотрим далее УВ для отдельных природных радионуклидов в питьевой воде, значения которых приведены в НРБ-99/2009 без округления, а в Руководстве ВОЗ с использованием метода логарифмического округления (табл. 1).

В таблице 1 приведены значения УВ только для тех природных радионуклидов, для которых разница между данными в Руководстве ВОЗ и НРБ-99/2009 является наибольшей. Как следует из этих данных, эта разница для разных радионуклидов составляет от чуть менее двух для изотопов тория до более чем трех раз для изотопов урана. В принципе, можно было бы согласиться с красивым рядом числовых значений УВ в Руководстве ВОЗ, если бы не последствия такого округления. Причиной этого является методология ограничения содержания природных радионуклидов в питьевой воде, в соответствии с кото-

рой вода вполне пригодна для питья до тех пор, пока выполняется условие (2).

Таблица 1

**Значения УВ для отдельных природных радионуклидов в питьевой воде по Приложению 2а к НРБ-99/2009 и Руководству ВОЗ [6]**

| Радионуклид       | Дозовый коэффициент, мкЗв/Бк | Значения УВ |                     |
|-------------------|------------------------------|-------------|---------------------|
|                   |                              | ВОЗ (Бк/л)  | НРБ-99/2009 (Бк/кг) |
| <sup>234</sup> U  | 0,049                        | 10,0        | 2,80                |
| <sup>235</sup> U  | 0,047                        | 10,0        | 2,90                |
| <sup>238</sup> U  | 0,045                        | 10,0        | 3,00                |
| <sup>228</sup> Th | 0,072                        | 1,0         | 1,90                |
| <sup>230</sup> Th | 0,210                        | 1,0         | 0,65                |
| <sup>232</sup> Th | 0,230                        | 1,0         | 0,60                |
| <sup>226</sup> Ra | 0,280                        | 1,0         | 0,49                |
| <sup>228</sup> Ra | 0,690                        | 0,1         | 0,20                |
| <sup>210</sup> Pb | 0,690                        | 0,1         | 0,20                |

Нетрудно видеть, что верхней границе условия (2) соответствует эффективная годовая доза облучения населения за счет содержания природных радионуклидов в питьевой воде 1 мЗв/год, если значения УВ принять по Приложению 2а к НРБ-99/2009. Если же значения УВ принять по Руководству ВОЗ, то для 7 из 9 приведенных в таблице 1 радионуклидов эффективная доза будет значительно выше – до 3,6 раз.

Таким образом, в плане ограничения облучения населения за счет природных источников излучения значения УВ для природных радионуклидов в Руководстве ВОЗ являются менее обоснованными по сравнению с их значениями в НРБ-99/2009. К тому же значения УВ для природных радионуклидов в Руководстве ВОЗ вступают в прямое противоречие с уровнем вмешательства для урана 30 мкг/кг, установленным в этом же документе по химической токсичности, о чем свидетельствуют данные таблицы 2.

Таблица 2

**Значения УВ для природных изотопов урана в питьевой воде по Приложению 2а к НРБ-99/2009 [2] и Руководству ВОЗ [6] и соответствующее им массовое содержание этих изотопов в воде**

| Радионуклид      | Руководство ВОЗ |                                  | НРБ-99/2009 |                                   |
|------------------|-----------------|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|
|                  | УВ, Бк/л        | Массовое содержание урана, мкг/л | УВ, Бк/кг   | Массовое содержание урана, мкг/кг |
| <sup>234</sup> U | 10,00           | 0,044                            | 2,80        | 0,012                             |
| <sup>235</sup> U | 10,00           | 125,20                           | 2,90        | 36,30                             |
| <sup>238</sup> U | 10,00           | 810,00                           | 3,00        | 243,00                            |

Как следует из данных таблицы 2, если значения УВ для природных изотопов урана принять в соответствии с Приложением 2а к НРБ-99/2009, то для <sup>235</sup>U это значение будет близким к уровню вмешательства для урана по его химической токсичности, а для <sup>234</sup>U химическая токсичность урана может не учитываться вообще. Что же касается природного изотопа наиболее распространенного в минеральных природных водах урана <sup>238</sup>U, то для него химическая токсичность урана будет более значимой,

чем радиотоксичность. Уровню вмешательства для урана в питьевой воде 30 мкг/кг соответствует удельная активность  $^{238}\text{U}$  в воде около 0,37 Бк/кг.

Если же принять значения УВ для природных изотопов урана в соответствии с рекомендациями Руководства ВОЗ, то при оценке показателей безопасности воды химическая токсичность будет играть основную роль уже для двух изотопов –  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ .

Таким образом, на основании вышеизложенного можно однозначно считать, что, по крайней мере, для трех природных изотопов урана ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$ ) более обоснованными являются численные значения УВ для удельной активности этих радионуклидов как в минеральных природных столовых и лечебно-столовых водах, так и в питьевой воде, которые приведены в Приложении 2а к НРБ-99/2009. В этих значениях УВ для изотопов урана в НРБ-99/2009 в большей мере, чем в Руководстве ВОЗ, заложен учет токсичности урана как химического элемента.

Основываясь на этом, ниже приведен проект требований к ограничению содержания природных радионуклидов в минеральных природных водах, которые базируются на использовании численных значений УВ для природных радионуклидов в питьевой воде в соответствии с Приложением 2а к НРБ-99/2009 и на классификации минеральных природных вод в соответствии с ГОСТ Р 54316-2011.

### Требования к ограничению содержания природных радионуклидов в минеральных природных водах

1. Минеральные природные воды добываются из хорошо защищенных от антропогенного воздействия подземных горизонтов и не подвергаются обработке, которая привела бы к изменению их химического и минерального состава и других характеристик, свойственных им в их естественном состоянии. Радиоактивность минеральных природных вод обусловлена присутствием в них только природных радионуклидов.

2. В зависимости от назначения минеральные природные воды подразделяются на:

- минеральные природные лечебные воды, которые принимаются строго по назначению врача,
- минеральные природные столовые и лечебно-столовые воды, которые допускаются в свободную продажу и могут использоваться для питья и приготовления пищи.

3. Минеральные природные лечебные воды принимаются по назначению врача, их прием связан с лечебными свойствами этих вод. Ограничения на содержание природных радионуклидов в минеральных природных лечебных водах не вводятся. При назначении лечебных процедур с использованием минеральных природных лечебных вод пределы доз облучения пациентов не устанавливаются. При назначении курсов лечения с использованием минеральных природных лечебных вод должен применяться принцип обоснования назначения процедур путем сопоставления терапевтических (лечебных) выгод, которые они приносят, с радиационным ущербом для здоровья, который может причинить облучение.

4. Установить критерии предварительной оценки качества минеральных природных столовых и лечебно-столовых вод, используемых для питья и приготовления пищи, по показателям радиационной безопасности по

удельной суммарной альфа- ( $A_\alpha$ ), равным 0,2 Бк/кг, и бета-активности ( $A_\beta$ ), равным 1,0 Бк/кг.

При значении  $A_\alpha$  менее 0,2 Бк/кг и/или  $A_\beta$  менее 1,0 Бк/кг дальнейшие исследования радиоактивности минеральных природных столовых и лечебно-столовых вод не являются обязательными.

В случае если удельная суммарная альфа-активность превышает 0,2 Бк/кг и/или удельная суммарная бета-активность превышает 1,0 Бк/кг, проводится анализ содержания природных радионуклидов в минеральных природных столовых и лечебно-столовых водах.

Если для содержания природных радионуклидов в минеральных природных столовых и лечебно-столовых водах выполняется условие:

$$\sum_i^N A_i / UB_i \leq 10,$$

где  $A_i$  – удельная активность  $i$ -го природного радионуклида в воде, Бк/кг;

$N$  – общее число определяемых природных радионуклидов в воде;

$UB_i$  – соответствующие уровни вмешательства для  $i$ -го природного радионуклида в воде, Бк/кг,

то считается, что минеральные природные столовые и лечебно-столовые воды соответствуют требованиям санитарных правил и гигиенических нормативов по показателям радиационной безопасности; в этом случае внесение информации в маркировку потребительской тары о содержании природных радионуклидов в минеральных природных столовых и лечебно-столовых водах не является обязательным.

Значения УВ для отдельных природных радионуклидов, наиболее распространенных в минеральных природных водах, принимаются в соответствии с данными таблицы 3.

Таблица 3

#### Уровни вмешательства для наиболее распространенных природных радионуклидов в минеральных природных столовых и лечебно-столовых водах

| № п/п | Радионуклид | Уровень вмешательства, Бк/кг |
|-------|-------------|------------------------------|
| 1     | Уран-234    | 2,80                         |
| 2     | Уран-235    | 2,90                         |
| 3     | Уран-238    | 3,00                         |
| 4     | Радий-224   | 2,10                         |
| 5     | Радий-226   | 0,49                         |
| 6     | Радий-228   | 0,20                         |
| 7     | Полоний-210 | 0,11                         |
| 8     | Свинец-210  | 0,20                         |
| 9     | Торий-228   | 1,90                         |
| 10    | Торий-230   | 0,65                         |
| 11    | Торий-232   | 0,60                         |

В тех случаях, когда для содержания природных радионуклидов в минеральных природных столовых и лечебно-столовых водах указанное выше условие не выполняется, то обязательным является внесение в маркировку потребительской тары информации о содержании природных радионуклидов в форме: «Не рекомендуется для постоянного применения для питья и приготовления пищи».

**Литература**

1. Нутриенты в воде. Вода, санитария, охрана здоровья и окружающей среды. – ВОЗ, 2005. – 60 с.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы (СанПиН 2.6.1.2523-09): утв. и введены в действие от 07.07.09 г. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
3. Директива Европейского парламента и Совета от 18 июня 2009 г. по добыче и размещению в торговой сети природных минеральных вод. 2009/54/ЕС. – Комиссия ЕС, 2009. – 14 с.
4. Новиков, Ю.В. Гигиенические вопросы изучения содержания урана во внешней среде и его влияния на организм / Ю.В. Новиков. – М.: Медицина, 1974. – 232 с.
5. Баженов, А.В. Вредные химические вещества. Радиоактивные вещества / В.А. Баженов, Л.А. Булдаков, И.Я. Василенко. – Л.: Химия, 1990. – 464 с.
6. Guidelines for Drinking-water Quality. Fourth Edition. Recommendation. – World Health Organization. – WHO, 2011. – 564 p.
7. Иванов, В.В. Классификация подземных минеральных вод / В.В. Иванов, Г.А. Невраева. – М.: Недра, 1964. – 167 с.
8. ГОСТ Р 54316-2011. Воды минеральные природные питьевые. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011. – 46 с.
9. Стамат, И.П. Организация и проведение комплексного радиационно-гигиенического обследования системы водоснабжения г. Тверь / И.П. Стамат, Т.А. Кормановская, А.В. Световидов. – СПб, 2007. – 117 с.
10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): СП 2.6.1.2612-10: зарегистрирован 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115. – М.: Минюст России, 2010. – 82 с.
11. Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения (СанПиН 2.6.1.2800-10). – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 40 с.
12. Эмсли, Дж. Элементы / Дж. Эмсли. – М.: Мир, 1993. – 256 с.
13. Санитарные правила работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений. – М.: Госатомиздат, 1960. – 118 с.
14. Нормы радиационной безопасности (НРБ-69). – М.: Атомиздат, 1972. – 87 с.
15. Нормы радиационной безопасности (НРБ-76). – М.: Атомиздат, 1978. – 56 с.
16. Нормы радиационной безопасности (НРБ-96). Гигиенические нормативы ГН 2.6.1.054-96. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996. – 127 с.
17. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99): Гигиенические нормативы СП 2.6.1.758-99. – М.: Минздрав России, 1999. – 116 с.
18. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов (СанПиН 2.3.2.1078-01). – М.: ФГУП ИнтерСЭН, 2002. – 168 с.
19. Official Journal of the European Communities No L 297 of 13.10.1992, p. 8. Council Directive 92/73/EEC of 22 September 1992 widening the scope of Directives 65/65/EEC and 75/319/EEC on the approximation of provisions laid down by law, regulation or administrative action relating to medicinal products and laying down additional provisions on homeopathic medicinal products.

**I.P. Stamat, V.V. Stupina**

**On standardization of radiation protection indexes of natural mineral waters**

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

*Abstract. Issues connected with the standardization of radiation protection indexes of natural mineral waters are considered in the article. It is shown that classification of natural mineral waters according to their intended use which is accepted in GOST R 54316-2011 is close to their classification in the EU countries. Justification is given of the approaches to standardization of natural radionuclides content in natural mineral waters. It is shown that it is more acceptable to use the values of interventional levels for individual radionuclides given in Radiation Safety Standard-99/2009 for this purpose in comparing with the values given in WHO Guidelines for Drinking-water Quality.*

*Key words: drinking-water, natural mineral water (table, medical table, medicinal), natural radionuclides, radiological and chemical toxicity of uranium, population effective exposure dose due to water consumption.*

Стамат И.П.  
Тел.: (812)2324329

Поступила: 28.05.2014 г.