

УДК 615.849:546.296(476.6)

С.Н. Соколовская<sup>1</sup>, Л.Г. Карпишевич<sup>2</sup>,  
Н.П. Минько<sup>2</sup>, В.А. Пономарев<sup>3</sup>,  
В.А. Игнатенко<sup>4</sup>, Б.К. Кузнецов<sup>4</sup>

## ИЗОТОПЫ РАДОНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ ВОДОЛЕЧЕНИИ В САНАТОРИИ «РАДОН»

<sup>1</sup>УО «Гродненский государственный аграрный университет», г. Гродно, Беларусь

<sup>2</sup>Филиал «Санаторий «Радон» ОАО «Белагроздравница», д. Боровики, Беларусь

<sup>3</sup>ОАО «Белагроздравница», г. Минск, Беларусь

<sup>4</sup>УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Беларусь

Радоновые воды успешно используются в качестве минеральных вод в санатории «Радон». Эффект радонотерапии научно обоснован, достигается за счет воздействия на организм излучения радона и его дочерних продуктов. Исследовали воду, используемую для процедур в водолечебнице. Для исследования воды и измерения мощности эквивалентной дозы использовали дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 и РКСБ-104. Основным эффектом при радонотерапии вносит  $^{222}\text{Rn}$  и продукты его распада, но в воде могут образоваться изотопы  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$ , из-за несколько повышенного содержания радия. Так через 15 часов поток бета-частиц с поверхности воды практически полностью прекращается. При распаде радона и дочерних продуктов распада выделяются  $\alpha$ -,  $\beta$ -, и  $\gamma$ -излучение и в водной среде происходит радиолиз; под воздействием радонового излучения происходит повышение уровня окислительно-восстановительных реакций во всем организме; при попадании воды внутрь могут образоваться биологические свободные радикалы, поэтому радонотерапия требует повышенного контроля со стороны врачей.

**Ключевые слова:** *изотопы радона, радонотерапия, радиолиз, повышение уровня окислительно-восстановительных реакций, лечебное воздействие*

### Введение

Изотопы радона, входящие в состав всех естественных радиоактивных семейств, присутствующих в настоящее время на Земле, образуются при распаде изотопов радия (схема).

Наиболее долгоживущим радионуклидом радона является  $^{222}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 3,8$  суток). Периоды полураспада изотопов  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$  соответственно составляют 55,6 и 3,96 секунды. При распаде изотопов радона образуются радиоактивные изотопы полония Po, висмута Bi, свинца Pb.

Радон – это невидимый инертный газ, который в 7,5 раз тяжелее воздуха. Он освобождается из земной коры повсеместно. Поступающий из горных пород радон переходит в воздух и (или) воду, поэтому в природе существует в виде радоно-

вых минеральных вод и (или) воздушно-радоновых смесей. Его концентрации в воздухе (почвенном, атмосферном) и воде зависят как от содержания в горных породах, так и от величины выделения или эмансирования [1, 2]. Радоновые воды Беларуси отличаются несколько повышенным содержанием радия ( $1,19\text{--}2,28 \times 10^{-11}$  г/л) [2].

Высокая эффективность применения радиоактивных вод в оздоровительных целях доказана многочисленными экспериментальными и клиническими исследованиями и широко освещена в литературе. Доказана высокая эффективность применения радонотерапии при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, неврологических заболеваниях, значительно расширен спектр показаний к применению радона в кардиологии, гастроэнтерологии и гинекологии [3].

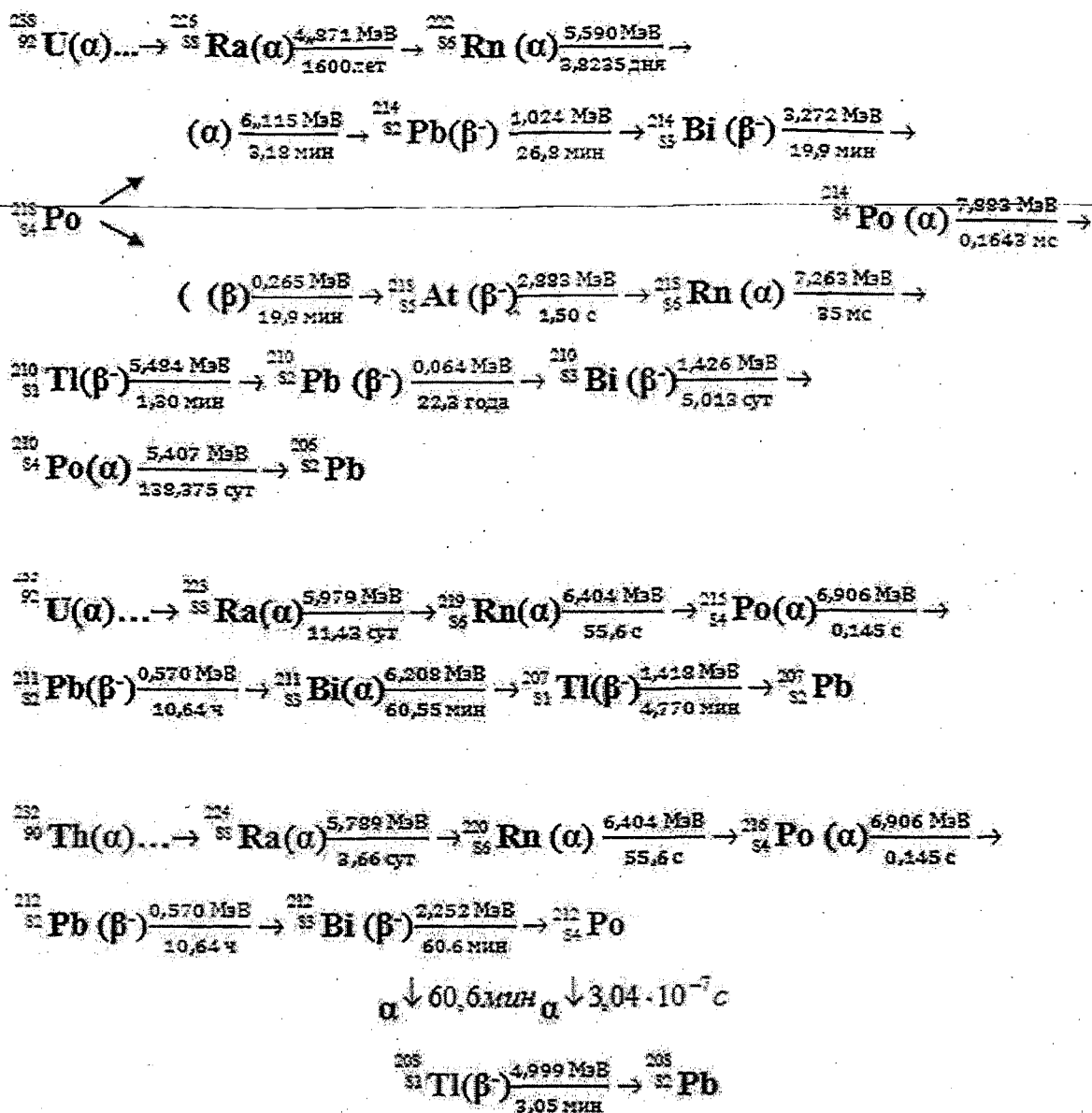


Схема – Радиоактивный распад ядер урана и тория с указанием вида распада ядер, периодов полураспада и выделяемой энергии

Радоновые воды успешно используются в качестве минеральных вод бальнеологического регистра в санатории «Радон».

Разработана биохимическая теория радиационного гормезиса [4, 5]. Многочисленные исследования показали, что радиоактивность, например, того же радона в малых дозах является жизненно необходимым условием, стимулирующим защитные и другие функции организма. Биохимические сдвиги при малых дозах отражают ответ регуляторных систем целого организма, направленный на поддержание

гомеостаза, активизации жизненного статуса организма. Снижение риска ревматических и онкологических заболеваний, активизация процессов репарации, иммунитета, регенерации превалируют при малых дозах облучения. Между тем, хорошо известно, что ионизирующее излучение наносит вред организму за пределами некоторых пороговых доз.

Исследовали воду содержащую радон, используемую в водолечебнице, с целью анализа активности, связанной с распадом радона и его дочерних продуктов, и прове-

ли эксперимент по определению свободных радикалов возникающих в водной среде.

### Материал и методы исследования

Для исследования воды, содержащей изотопы радона, использовали дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 и РКСБ-104. Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 применяли для измерения мощности эквивалентной дозы рентгеновского и  $\gamma$ -излучения. Прибор измеряет мощность амбиентной дозы рентгеновского и  $\gamma$ -излучения в диапазоне от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч. Диапазоны энергий регистрируемого  $\gamma$ -излучения от 20 кэВ до 3 МэВ.

Прибор РКСБ-104 предназначен для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых или рабочих помещениях и имеет три режима измерения: мощности дозы внешнего  $\gamma$ - (и рентгеновского) излучения с энергией от 0,06 МэВ до 1,25 МэВ; плотности потока  $\beta$ -излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами; удельной активности радионуклидов в водных растворах. Диапазон измерений: мощности дозы  $\gamma$ -излучения 0,1-999 мкЗв/ч; удельной активности 2-9990 Бк/г. Пределы основной относительной погрешности измерений: мощности  $\gamma$ -излучения не более  $\pm 30\%$ , удельной активности не более  $\pm 35\%$ .

Приборы использовались для контроля мощности эквивалентной дозы в помещении водолечебницы и за ее пределами, плотность потока  $\beta$ -частиц, и удельной активности радионуклидов в водных растворах. Вода забиралась из ванн, приготовленных для проведения процедур.

Для определения образования свободных радикалов в водных растворах содержащих изотопы радона, добавляли KI (хч). Спектр полученного вещества анализировали на спектрофотометре СФ-46.

### Результаты исследования

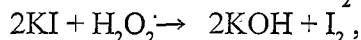
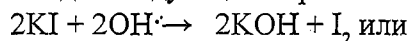
Радоновые воды применяются в виде общих ванн, локальных четырёх камерных ванн, питья слаборадоновой воды, для под-

водного вытяжения в радоновой воде, ги-некологических орошений, микроклизм.

Эффект радонотерапии научно обоснован, достигается за счет воздействия на организм радона и его дочерних продуктов. Считается, что основной эффект при радонотерапии вносит  $^{222}\text{Rn}$ , так как период полураспада имеет наибольшее значение. Однако в воде могут присутствовать изотопы  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$ , так как используемая для процедур вода содержит несколько повышенное содержание радия [2].

При распаде радона и дочерних изотопов, выделяется  $\alpha$ -,  $\beta$ -, и  $\gamma$ -излучение. Энергия, выделяемая при излучении, поглощается молекулами воды и происходит их ионизация и радиолиз воды. При этом энергия, выделяемая при этом, достигает значений (от 8,955 до 0,064 МэВ, на один акт распада). Образовавшиеся, в результате радиолиза, свободные радикалы  $\text{H}\cdot$  и  $\text{OH}\cdot$  несут электрического заряда, но обладают высокой реакционной способностью. Радикал  $\text{OH}\cdot$  имеет окислительные свойства, а радикал  $\text{H}\cdot$  - восстановительные. Чем больше плотность ионизации, тем выше концентрация радикалов. Часть из них реагирует друг с другом, образуя пероксид водорода. Таким образом, в водной среде образуется достаточное количество свободных радикалов и перекиси водорода.

Это было подтверждено экспериментально при добавлении в водные растворы, содержащие радон, KI. В этих пробах во времени происходило пожелтение раствора. Спектр поглощения этого раствора имел максимум на 350 нм, что соответствует максимуму молекулярного йода ( $\text{I}_2$ ). При этом раствор имел запах соответствующий йоду. Качественно наличие молекулярного йода подтверждается реакцией полученного желтого раствора с картофельным крахмалом: исчезновение запаха и образованием синего осадка крахмала. Реакция образования молекулярного йода происходит следующим образом:



при этом пероксид водорода с выделением молекулы синглетного кислорода об-

разуется при взаимодействии двух молекул супеоксида, который появляется при взаимодействии гидратированного электрона с молекулой кислорода.

Некоторые из дочерних продуктов изотопов радона сорбируются на теле человека и, распадаясь, оказывают воздействие на кожный покров. Выделяемое  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучение не являются опасными для кожных покровов (пробег в биологической ткани приблизительно составляет 0,1 мм и 0,5 мм соответственно).

Если проанализировать суммарное время распада изотопов радона  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$  и их дочерних продуктов распада (см. схему), становится очевидным, что при прохождении водолечения в виде радоновых ванн следует обратить внимание именно на продукты распада  $^{222}\text{Rn}$  и изотопы  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$ , которые могут вносить свой вклад в лечебный эффект.

В теплой воде происходит ускорение выделение изотопов радона в атмосферу, это происходит именно с  $^{222}\text{Rn}$ , и его вклад в дозу внешнего облучения при принятии ванн значительно уменьшается, а в процессе облучения, скорее всего, участвуют продукты его распада. А изотопы  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$  распадаются значительно быстрее, не успевают покинуть водную среду, и все продукты их распада остаются в воде.

Были проанализированы данные по изменению активности проб воды, поступающей из скважин в водолечебницу, которые подтверждают выдвинутое предположение. Данные представлены в таблице.

Относительная погрешность измерений составляет 3,45-6,82%.

Из представленных данных видно, что через 15 часов поток  $\beta$ -частиц с поверхности пробы воды практически полностью прекращается.

Изотоп  $^{222}\text{Rn}$ , испаряясь, накапливается в помещении водолечебницы, оказывая

при этом дополнительное облучение пациентов и персонала, находящихся в водолечебнице. Так, мощность эквивалентной дозы в помещении водолечебницы составляет 0,16-0,21 мкЗв/ч, а за пределами водолечебницы 0,08-0,11 мкЗв/ч. С потоком вдыхаемого воздуха радон может попадать в легкие пациентов и персонала. Именно поэтому стоит обратить особое внимание на усиление вентиляции воздуха в помещении водолечебницы для уменьшения содержания радона в воздухе.

Радоновые ванны из воды естественных радоновых источников используются для лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата, периферической нервной системы и др. Благодаря ионизирующему излучению радон и продукты его распада положительно влияют на центральную нервную систему, перестраивают и уравнивают процессы возбуждения и торможения, уменьшает болевой синдром и нормализуют сон. Радоновые ванны влияют на функцию желез внутренней секреции (в частности, на щитовидную железу), на белковый обмен, что выражается в усилении выделения мочевой кислоты, улучшают работу сердечно-сосудистой системы. Радоновые ванны также используются для лечения кожных и нервных заболеваний, болезней кровообращения [3, 6].

В 2013 году в Санатории «Радон» внедрена инновационная методика с применением радонотерапии «Горизонтальное подводное вытяжение в радоновой воде» для комплексной терапии пациентов с дегенеративными изменениями позвоночника. Процедуры обладают выраженным анальгезирующим и седативным действием, понижается проводимость по нервным волокнам, усиливаются тормозные процессы в ЦНС, улучшается нервно-мышечная передача.

В последние годы в санатории «Радон» стали применяться естественные радоновые

Таблица – Зависимость изменение активности проб воды с течением времени

Время наблюдения, мин	10	20	40	60	100	120	160	180	220	300	600	900
Активность проб, Бк/л	2340	1980	1860	1700	1420	1280	960	880	620	500	100	40

воды для питьевого лечения при болезнях почек и мочевыводящих путей, желудочно-кишечных заболеваниях. В гинекологии активно используют орошения радоновой водой. С успехом применяется в санатории радоновые воды для лечения больных хроническим простатитом. Исследователи отмечают, что содержащиеся в воде продукты распада радиоактивных веществ усиливают обмен веществ, повышают скорость кровообращения, способствуют активизации тканевых процессов и вызывают рассасывание воспалительных инфильтратов [6].

При приёме радоновой воды внутрь возникает ряд опасностей. Оценить уровень внутреннего облучения крайне сложно. Мы можем лишь теоретически прогнозировать, что при попадании внутрь организма радон и его дочерние изотопы, распадаясь, ионизируют биологические молекулы тканей, вблизи которых происходит распад или происходит радиолит воды. Так в местах распада образуются свободные радикалы воды и биологические свободные радикалы, что может быть не безопасно для организма. Радикалы взаимодействуют с веществами, входящими в состав клеток тканей, образуя биохимически активные вещества, тем самым влияя на функциональную активность клеток. Продукты распада могут быть токсичными, а изотопы свинца, попадая в кровь, не выводятся из организма. Именно поэтому, как и любой вид лечения, радонотерапия требует повышенного контроля со стороны врачей, и только под их постоянным наблюдением может принести облегчение и выздоровление. Необходимо контролировать активность употребляемой воды и перед употреблением выдержать в течении 10-15 часов. Однако в воде из радонового источника будет содержаться перекись водорода, которая при приёме внутрь может оказывать лечебное воздействие.

### Выводы

1. Лечебный эффект при принятии радоновых ванн вносят, вероятнее всего, продукты распада  $^{222}\text{Rn}$  и изотопы  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$ , так как используемая для процедур вода со-

держит несколько повышенное количество радия. Так через 15 часов поток  $\beta$ -частиц с поверхности пробы воды практически полностью прекращается.

2. При распаде радона и дочерних изотопов выделяется  $\alpha$ -,  $\beta$ -, и  $\gamma$ -излучение, энергия которого поглощается молекулами воды, и происходит их ионизация и радиолит воды, что способствует повышению уровня окислительно-восстановительных реакций.

3. При попадании внутрь организма радон и его дочерние изотопы, распадаясь, ионизируют биологические молекулы тканей. Так в местах распада образуются биологические свободные радикалы, что может быть не безопасно для организма, а продукты распада могут быть токсичными. Именно поэтому радонотерапия требует повышенного контроля со стороны врачей.

### Библиографический список

1. Матвеев, А.В. Радонопродуцирующий потенциал пород платформенного чехла территории Беларуси / А.В. Матвеев, М.И. Автушко // Літасфера. – 2015. – № 2(43). – С. 143-149.
2. Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси / А.В. Матвеев [и др.] // Літасфера. – 1996. – № 5. – С.151-161.
3. Разумов, А.Н. Современные возможности радонотерапии в медицинской реабилитации пациентов / А.Н. Разумов, А.О. Пурига, О.В. Юрова // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2015. – Т. 92, № 4. – С. 54-60.
4. Кузин, А.М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке / А.М.Кузин. – М.: Наука, 1995. – 198 с.
5. Ярмоненко, С.П. Низкие уровни излучения и здоровье: радиобиологические аспекты / С.П. Ярмоненко // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2000. – Т. 45, № 3. – С. 5-32.
6. Паспортно-аналитические данные питьевой минеральной воды филиала «Санаторий «Радон» ОАО «Белагроздраница»: отчет о НИР / рук. темы В.С. Улащик. – Минск, 2015. – 98 с.

S.N. Sakaloukaya, L.H. Karpishevich, N.P. Minko, V.A. Panamareu,  
V.A. Ignatenko, B.K. Kuznecov

**RADON ISOTOPES AND THEIR APPLICATION IN  
HYDROTHERAPY IN HEALTH CENTER «RADON»**

Radon water is used successfully as mineral water in the health centre «Radon». The influence of radon therapy is scientifically grounded, and the effect is reached by the exposure of the radon radiation and its daughter products on the body. Water using for water procedures was investigated. Radiation-measuring apparatus MKC-AT6130 and PKC-104 were used to study water and energy of equivalent dose. The main effect is given by the  $^{222}\text{Rn}$  in the process of radon therapy, it will be observed as well that in the water exists isotope  $^{220}\text{Rn}$  and  $^{219}\text{Rn}$ , which are formed because of high concentration of radium. In 15 hours the stream of  $\beta$ -decay on the water surface stops. One can make the following conclusions: It is occurred isolation of  $\alpha$ -,  $\beta$ -, and  $\gamma$ -radiation and radiolysis in water environment in the process of disintegration of radon and its daughter products. Consequently, enough number of free radicals, hydric dioxide and daughter products are formed in water environment and then occluded on the human body and disintegrating make a therapeutic modality. Under the action of low radon radiation it is occurred the increasing of oxidation-reduction level in the whole organism, when water gets inside, biological free radicals can form, therefore radon therapy requires increased monitoring by physicians.

**Key words:** radon isotopes, radon therapy, radiolysis, increasing of oxidation-reduction level, therapeutic modality

Поступила 19.03.2018