

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

¹Соколовская С.Н., ²Карпишевич Л.Г., ²Минько Н.П.,
³Пономарев В.А.

¹УО «ГГАУ», Гродно, Беларусь

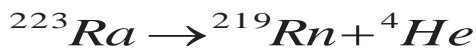
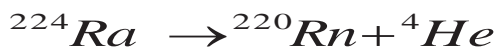
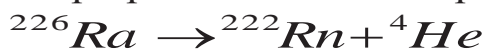
²Филиал «Санаторий «Радон» ОАО «Белагроздравница», Дятловский р-н,
Гродненская обл., Беларусь

³Открытое акционерное общество «Белагроздравница», Минск, Беларусь

Изотопы радона, входят в состав всех естественных радиоактивных семейств, образуются при распаде изотопов радия. Поступающий из горных пород радон переходит в воду и в природе существует в виде радоновых минеральных вод. Радоновые воды успешно используются в качестве минеральных вод бальнеологического регистра в санатории «Радон». Эффект радонотерапии научно обоснован, достигается за счет воздействия на организм излучения радона и его дочерних продуктов. Считается, что основной эффект при радонотерапии вносит ^{222}Rn , так как период полураспада имеет наибольшее значение. Хотя следует обратить также внимание и на присутствие в воде изотопов ^{220}Rn и ^{219}Rn , образующихся из-за несколько повышенным содержанием радия в радоновых водах Беларуси. При распаде радона и дочерних продуктов распада выделяется альфа- и бета-излучение и в водной среде происходит радиолиз. Таким образом, в водной среде образуется достаточное количество свободных радикалов, перекиси водорода и дочерних продуктов, которые сорбируются на теле человека и, распадаясь, оказывают лечебное воздействие. Под воздействием малого радонового излучения у больного, принимающего ванны, и принимавшего воду внутрь, происходит повышение уровня окислительно-восстановительных реакций во всем организме, что и способствует его выздоровлению.

Во всех естественных радиоактивных семействах присутствующих в настоящее время на Земле, промежуточными продуктами распада являются радиоактивные изотопы радона. Радон – это невидимый инертный газ, который в 7,5 раз тяжелее воздуха. Он освобождается из земной коры повсеместно.

Изотопы радона, входящие в состав этих радиоактивных семейств, образуются при распаде изотопов радия:



Наиболее долгоживущим радионуклидом радона является ^{222}Rn ($T_{1/2}=3,8$ суток). Периоды полураспада изотопов ^{220}Rn и ^{219}Rn соответственно составляют 55,6 и 3,96 секунды. При распаде изотопов радона образуются радиоактивные изотопы полония Po, висмута Bi и свинца Pb. Каким видам радиоактивного распада подвергаются изотопы радона, и какие радиоактивные продукты при этом образуются, можно увидеть на представленных схемах распада изотопов радона: ^{222}Rn , ^{220}Rn и ^{219}Rn [4].

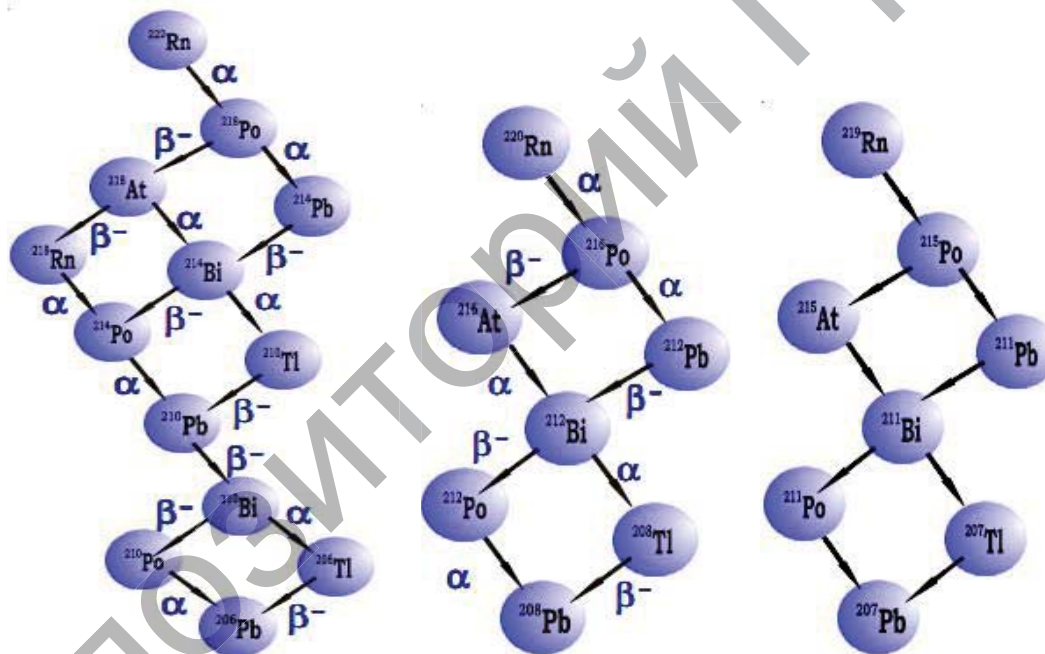


Схема 1. – Продукты распада ^{222}Rn , ^{220}Rn , ^{219}Rn .

Средняя активность радона в почвенном воздухе разнотипных осадочных пород Беларуси варьируют в пределах от 1,9 до 25,3 кБк/м³, что намного порядков выше его активности в атмосферном воздухе (~4,4 Бк/м³). Благодаря разности концентраций происходит постоянное выделение почвенного радона в атмосферу [3].

Поступающий из горных пород радон переходит в воздух и (или) воду, поэтому в природе существует в виде радоновых

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 эманирования. Рыхлые или сильнотрещиноватые породы, обладающие наибольшей свободной поверхностью, характеризуются повышенным эманированием [2, 3].

Активность радона в континентальных поверхностных водах варьирует от десятых долей до 3,7 Бк/л. В подземных водах высокие концентрации радона отмечаются в зонах повышенной дробленности горных пород (зоны разломов, активных в новейшее геологическое время). Подземным водам в пределах скоплений или месторождений урановых руд свойственны концентрации R_n до сотен тысяч Бк/л и более.

Радоновые воды Беларуси отличаются несколько повышенным содержанием радия (1,19-2,28·10⁻¹¹ г/л). Установлено увеличение концентрации радона с глубиной [2].

На открытой местности из-за быстрого рассеяния в атмосферном воздухе радон не представляет опасности для человека. Однако, проникая внутрь зданий через микротрещины в фундаменте и стенах, а также в ванные комнаты с током воды, он может накапливаться в закрытых непроветриваемых помещениях.

В отличие от самого радона продукты, образующиеся в результате последовательной цепочки радиоактивных распадов его изотопов (схемы продуктов распада) хорошо сорбируются на содержащихся в атмосферном воздухе аэрозольных частицах и на поверхности органов дыхания при попадании в организм с вдыхаемым воздухом. Поэтому главную опасность для человека представляет не сам химически инертный радон, а радиоактивные и химически токсичные продукты его распада, накапливающиеся в организме [4].

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 заболеваний, значительно расширен спектр показаний к применению радона в кардиологии, гастроэнтерологии и гинекологии [5].

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

Ученые-биохимики разработали теорию радиационного гормезиса [1, 7]. Гормезис происходит от слова «гормон» и обозначает побуждение или стимуляцию. 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. Активизация процессов репарации, иммунитета, регенерации превалируют при малых дозах облучения. Стимулирующее действие малых доз облучения:

- Повышение рождаемости от 24% до 54%.
- Активизация иммунной системы организма.
- Снижение риска ревматических и онкологических заболеваний.

Для исследования воды, содержащей изотопы радона, использовали дозиметр – радиометр МКС – АТ6130 и РКС-104. Дозиметр-радиометр МКС-АТ6130 предназначен для: измерения эквивалентной дозы и мощности эквивалентной дозы рентгеновского и гамма-излучения; измерения плотности потока бета-частиц, испускаемых с загрязненной радиоактивными веществами поверхности; измерения скорости счета импульсов рентгеновского и гамма-излучения; оперативного поиска источников ионизирующих излучений и радиоактивных материалов.

Приборы относятся к носимым средствам измерения и могут эксплуатироваться в лабораторных и полевых условиях службами радиационной безопасности, на предприятиях, имеющих дело с источниками ионизирующего излучения, для контроля уровней облучения медицинского персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения.

Приборы измеряют:

- а) мощность амбиентной дозы рентгеновского и гамма-излучения (далее мощность дозы) в диапазоне от 0,1 мкЗв/ч до 10 мЗв/ч;

б) амбиентную дозу рентгеновского и гамма-излучения (далее дозу) в диапазоне от 0,1 мкЗв до 100 мЗв;

в) плотность потока бета-частиц, испускаемых с загрязненной радиоактивными веществами поверхности в диапазоне от 10 до 104 част./((мин·см²);

г) скорость счета импульсов зарегистрированного рентгеновского и гамма-излучения в диапазоне от 0 до 1,1·10⁴ имп./с.

Диапазоны энергий регистрируемого гамма-излучения от 20 кэВ до 3 МэВ.

Прибор РКС-104 предназначен для контроля радиационной обстановки на местности, в жилых или рабочих помещениях и имеет три режима измерения: мощности дозы внешнего гамма (и рентгеновского) излучения с энергией от 0,06 МэВ до 1,25 МэВ; плотности потока бета излучения с поверхности, загрязненной радионуклидами; удельной активности радионуклидов в водных растворах. Предусмотрена звуковая индикация превышения пороговых значений мощности дозы: 0,6 мкЗв/ч и 1,2 мкЗв/ч.

Диапазон измерений: мощности дозы гамма-излучения 0,1–999 мкЗв/ч; плотности потока бета излучения 0,1–999 1/(с·см²); удельной активности 2–9990 Бк/г. Пределы основной относительной погрешности измерений: мощности гамма-излучения не более ±30%, плотности потока бета излучения не более ±45%, удельной активности не более ±35%.

Эти же приборы использовались для контроля мощности эквивалентной дозы в помещении водолечебницы и за ее пределами.

Вода забиралась из ванн, приготовленных для прохождения процедуры, и контролировалась плотность потока бета-частиц, и удельная активность радионуклидов в водных растворах.

Радоновые воды применяются в виде общих ванн (15 ванн отделение), локальных 4-х камерных ванн, питья слаборадоновой воды, для подводного вытяжения в радоновой воде, гинекологических орошений, микроклизм. Содержание радона соответствует средней активности от 20 до 80 нКи/л (0,75-2,2 кБк/л). Общие радоновые ванны чаще всего назначаются через день или 2 дня подряд с днем отдыха, при температуре 36-37°C, длительностью до 15 мин. на курс лечения 21 день до 8-10 ванн.

Эффект радонотерапии научно обоснован, достигается за счет воздействия на организм радона и его дочерних продуктов. Нет данных о процентном соотношении изотопов радона в используемой воде при прохождении процедур. Считается, что основной эффект при радонотерапии вносит ^{222}Rn , так как период полураспада имеет наибольшее значение (3,8 суток). Хотя следует обратить также внимание и на присутствие в воде изотопов ^{220}Rn и ^{219}Rn , так как используемая для процедур вода содержит несколько повышенным содержанием радия, из которого при распаде образуются изотопы радона. Следует отметить, в теплой воде достаточно быстро происходит диффузия изотопа ^{222}Rn в атмосферу и его вклад в дозу внешнего облучения при принятии ванн значительно уменьшается, а в процессе облучения, скорее всего, участвуют продукты его распада.

Основными продуктами распада радона являются изотопы полония Po , висмута Bi и свинца Pb . Рассмотрим, какой вид распада имеют эти изотопы, периоды полураспада и выделяемая энергия при распаде (таблица 1).

Таблица 1. – Вид распада, период полураспада и выделяемая энергия некоторых продуктов распада изотопов радона

<i>Нуклид</i>	<i>Вид распада</i>	<i>Период полураспада</i>	<i>Выделяемая энергия МэВ</i>
^{210}Po	α	138,376 сут	5,407
^{211}Po	α	516 мс	7,595
^{212}Po	α	299 нс	8,955
^{214}Po	α	0,1643 мс	7,883
^{215}Po	основной α	1,781 мс	7,527
^{216}Po	α	0,145 с	6,906
^{218}Po	основной α	3,10 мин	6,115
^{210}Bi	основной β - α	5,013 сут	1,426
^{211}Bi	основной α	2,14 мин	5,982
^{212}Bi	β - 64,06%;	60,55 мин	6,751
^{214}Bi	α 35,94%		2,252
^{215}Bi	основной β - β -	19,9 мин	6,208
		7,6 мин	3,272
			2,250
^{210}Pb	β -	22,3 года	0,064
^{211}Pb	β -	36,1 мин	1,367
^{212}Pb	β -	10,64 ч	0,570
^{214}Pb	β -	26,8 мин	1,024
^{215}At	α	0,1 с	8,178
^{218}At	основной α	1,5 с	6,874

При распаде радона и дочерних продуктов распада указанных в таблице, выделяется α - и β -излучение. Энергия, выделяемая при излучении, поглощается молекулами воды и происходит их ионизация и радиолиз воды (для альфа-частиц ионизирующая способность составляет от 30 до 100 тыс. пар ионов, для β - частиц – 20-300 пар ионов). Причем, следует отметить, суммарная энергия выделяемая при этом достигает немалых значений, которыми не стоит пренебрегать.

Сущность процесса радиолиза заключается в следующем: от молекул воды отрывается электрон и образуется положительный ион:



Освободившийся электрон захватывается нейтральной молекулой воды и образуется отрицательный ион: $H_2O + e^- \rightarrow H_2O^-$.

Образовавшиеся ионы воды неустойчивы и самопроизвольно распадаются: $H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH^\bullet$; $H_2O^- \rightarrow H^\bullet + OH^-$.

Образовавшиеся свободные радикалы H^\bullet и OH^\bullet не несут электрического заряда, но обладают высокой реакционной способностью. Радикал OH^\bullet имеет окислительные свойства, а радикал H^\bullet – восстановительные. Чем больше плотность ионизации, тем выше концентрация радикалов. Часть из них реагирует друг с другом: $H^\bullet + H^\bullet \rightarrow H_2$; $OH^\bullet + OH^\bullet \rightarrow H_2O_2$; $H^\bullet + OH^\bullet \rightarrow H_2O$.

Таким образом, в водной среде образуется достаточное количество свободных радикалов и перекиси водорода. Некоторые из дочерних продуктов сорбируются на теле человека и, распадаясь, оказывают воздействие на кожный покров. Выделяемое γ - и β -излучение не являются опасными для кожных покровов, так как проникающая способность этих излучений очень маленькая (пробег в биоткани приблизительно составляет 0,1 мм и 0,5 см, соответственно).

Если проанализировать среднее суммарное время распада изотопов радона ^{222}Rn , ^{220}Rn и ^{219}Rn и их дочерних продуктов распада из расчета на один изотоп, получим следующие значения 3,854 суток (не учитывая ^{210}Pb , период полураспада которого 22,3 года), 11,81 ч и 1,33 ч, соответственно. Именно поэтому, при прохождении водолечения в виде радоновых ванн следует обратить внимание и на изотопы ^{220}Rn и ^{219}Rn и продукты

распада ^{222}Rn , которые вносят значительный вклад в лечебный эффект.

Хотелось бы обратить также внимание на тот факт, что в теплой воде происходит ускоренная диффузия изотопов радона, и это происходит именно с ^{222}Rn . А изотопы ^{220}Rn и ^{219}Rn распадаются значительно быстрее (54,5 с и 3,92 с, соответственно), не успевая покинуть водную среду, и все продукты их дочернего распада остаются в воде и сорбируются на поверхностях в ней находящихся.

Были проанализированы данные по изменению активности проб воды, поступающей из скважин в водолечебницу. Данные представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Зависимость изменение активности проб воды с течением времени

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

Из представленных данных видно, что через 15 часов поток бета-частиц с поверхности пробы воды практически полностью прекращается. Важно отметить что, если проба воды находилась в закрытой емкости, то процесс снижения активности замедляется, так как возможно происходит процесс обратной диффузии.

Изотоп ^{222}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.

Радоновые ванны – из воды естественных радоновых источников используются для лечения заболеваний опорно-двигательного аппарата, периферической нервной системы и др. Воздействие радоновых ванн сказывается в их болеутоляющем и успокаивающем влиянии. Благодаря ионизирующему излучению радон положительно влияет на центральную нервную систему, перестраивает и уравнивает процессы возбуждения и торможения, уменьшает болевой синдром и нормализует сон. Радоновые ванны влияют на функцию желез внутренней секреции (в частности, на щитовидную железу), на овариально-менструальный цикл, на белковый обмен, что сказывается в усилении выделения мочевой кислоты, улучшают работу сердечно-сосудистой системы. Радоновые ванны также используются для лечения кожных и нервных заболеваний, болезней кровообращения [5].

После принятия радоновой ванны отмечалось ускорение кровотока в суставах, купирование воспалительных явлений, значительное обезболивающее действие, улучшение подвижности суставов. Кроме того, радоновые ванны способствуют ускорению выведения мочевой кислоты из организма, поэтому их рекомендуют больным с подагрой, особенно в случае сочетания заболеваний суставов с артериальной гипертензией [5, 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. Действие радоновых ванн основано на ионизации молекул воды и белков и образовании метаболитов кислорода и гидроперекиси. Они обладают выраженным анальгезирующим и седативным действием, понижается проводимость по миелинизированным нервным волокнам, усиливаются тормозные процессы в ЦНС, улучшается нервно-мышечная передача. На фоне приема радоновых ванн отмечается улучшение микроциркуляции, центральной гемодинамики, коронарного кровообращения, присутствует гипотензивный эффект.

В последние годы в санатории «Радон», стали применяться

естественные радоновые воды для питьевого лечения. Особенно показано питьевая практика при болезнях почек и мочевыводящих путей, желудочно-кишечных заболеваниях. Радоновую воду назначают внутрь для лечения заболеваний желудка и кишечника. В гинекологии активно используют орошения радоновой водой. При приёме радоновой воды внутрь возникает ряд опасностей.

При попадании внутрь организма радон и продукты его распада, распадаясь, ионизируют биологические молекулы тканей, вблизи которых происходит распад или происходит радиолиз воды, который мы описывали выше. Так в местах распада образуются свободные радикалы воды и биологические свободные радикалы, что может быть небезопасно для организма, а продукты распада могут быть токсичными. Именно поэтому, как и любой вид лечения, радонотерапия требует повышенного контроля со стороны врачей, и только под их чутким надзором приносит облегчение и выздоровление. Необходимо контролировать активность употребляемой воды и перед употреблением дать воде отстояться, чтобы продукты распада осели, а радон выделился из употребляемой воды. Однако в воде из радонового источника будет содержаться перекись водорода, которое при приёме внутрь может оказывать лечебное воздействие.

С успехом применяется в санатории радон для лечения больных хроническим простатитом с помощью радоновых ванн и микроклизм с радоновой водой. 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 [5, 6].

Под воздействием малого радонового излучения у больного, принимающего ванны, и принимавшего воду внутрь, происходит повышение уровня окислительно-восстановительных реакций во всем организме, что и способствует его выздоровлению.

1. Кроме изотопов ^{222}Rn , следует обратить внимание и на присутствие в воде изотопов ^{220}Rn и ^{219}Rn , так как используемая для процедур вода содержит несколько повышенным содержанием радия, из которого при распаде образуются изотопы радона. Так через 15 часов поток бета-частиц с поверхности пробы воды практически полностью прекращается.

2. При распаде радона и дочерних продуктов распада указанных выделяются альфа- и бета-излучение. Энергия, выделяемая при излучении, поглощается молекулами воды и происходит их ионизация и радиолиз воды, что способствует повышению уровня окислительно-восстановительных реакций.

3. При попадании внутрь организма радон и продукты его распада, распадаясь, ионизируют биологические молекулы тканей, и происходит радиолиз воды. Так в местах распада образуются свободные радикалы воды и биологические свободные радикалы, что может быть не безопасно для организма, а продукты распада могут быть токсичными. Именно поэтому, как и любой вид лечения, радонотерапия требует повышенного контроля со стороны врачей, и только под их чутким надзором приносит облегчение и выздоровление.

Литература:

1. Кузин А.М. Идеи радиационного гормезиса в атомном веке. М.: Наука, 1995. 198 с.
2. Матвеев А.В., Автушко М.И. Радонопродуцирующий потенциал пород платформенного чехла территории Беларуси // Літасфера, 2015. № 2 (43). – С. 143-149.
3. Матвеев, А.В. Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси / А.В. Матвеев, А.В. Кудельский, Р.Е. Айзберг, И.В. Найденов, А.К. Карабанов, М.С. Капора, А.П. Стародубова // Літасфера, 1996. № 5. – С. 151-161.
4. Основы радиэкологии и безопасности жизнедеятельности / Г.А. Соколик [и др.]; под общ. ред. Т.Н. Ковалёвой, Г.А. Соколик, С.В. Овсянниковой. – Минск: Тонтик, 2008. – С. 77 – 91.
5. 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. Т. 92, № 4. 2015. – С. 54-60.
6. Улащик, В.С. Отчет о научно-исследовательской работе «Паспортно-аналитические данные питьевой минеральной воды филиала «Санаторий «Радон» ОАО «Белагроздравница» (скважина № 1)», Минск, 2015.
7. Ярмоненко, С.П. Низкие уровни излучения и здоровье: радиобиологические аспекты // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2000. Т. 45. № 3. – С. 5-32.

ЛЕЧЕНИЕ ЗАБОЛЕВАНИЙ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРОДУКТАМИ ПЧЕЛОВОДСТВА

Цибульская Н.В., Енджиевская А.Г.

Санаторий «Неман-72», Гродно, Беларусь

С незапамятных времен продукты пчеловодства применялись для лечения заболеваний опорно-двигательного