Особенности формирования радиологического состава минеральных вод региона КМВ

Потапов Е.Г., Ляшенко С.И.

Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии – филиал Северо-Кавказского научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства России, г. Пятигорск, пр. Кирова 30, E-mail: gidholod@mail.ru

АННОТАЦИЯ В работе рассмотрены вопросы формирования радиологического состава подземных минеральных вод региона КМВ. Показано, что основными факторами формирования радионуклидного состава подземных вод является выщелачивание пород палеозойского фундамента, гранитной дресвы и интрузивных тел лакколлитов. Установлено, что для большинства минеральных вод региона суммарная альфа-радиоактивность не превышает 0,2 Бк/кг или несколько выше этого значения. Превышение суммарной бета-активности отмечается только в минеральных водах Железноводского месторождения.

Features of the formation of the radiological composition of mineral waters of the CMW region

Potapov E.G., Lyashenko S.I.

Pyatigorsk Scientific Research Institute of Balneology - a branch of the North Caucasian Scientific and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Pyatigorsk, Kirov Ave. 30, E-mail: gidholod@mail.ru

ABSTRACT The paper considers the formation of the radiological composition of underground mineral waters of the CMW region. It is shown that the main factors in the formation of the radionuclide composition of groundwater are the leaching of rocks of the Paleozoic basement, granite gress and intrusive bodies of laccoliths. It was found that for most mineral waters in the region, the total alpha radioactivity does not exceed 0.2 Bq / kg or slightly higher than this value. Excess total beta activity is noted only in the mineral waters of the Zheleznovodsk deposit.

ВВЕДЕНИЕ

Большинство подземных минеральных вод региона Кавказских Минеральных Вод (КМВ) содержат в своем составе такие радиоактивные элементы как уран, радий, радон, торий и другие, повышенные концентрации которых отмечаются на Кисловодском, Пятигорском, Железноводском, Бештаугорском и других месторождениях. Лечебное применение этих вод регламентируется курортологической классификацией минеральных вод, а радиологическая безопасность оценивается в соответствии с требованиями и нормами радиационной безопасности [5, 6] и другими нормативными документами в этой сфере.

В связи с образованием Евразийского экономического сообщества (Россия, Белоруссия, Казахстан, Киргизия, Армения) разрабатывается единая нормативная база товаров, сфер и услуг в рамках этого союза. Одним из таких документов является Технический регламент «О безопасности упакованной питьевой воды, включая природную минеральную воду (ТР ЕАЭС 044/2017)», который вступил в действие с 1 января 2019 года. В этом документе существенно снижены нормы содержания радионуклидов в минеральных водах, по сравнению с нормативной базой Российской Федерации по этому вопросу. Фактически они соответствуют требованиям для пресных питьевых вод ежедневного потребления человеком не менее 2 л в день, без

учета ограниченного применения минеральных вод при лечении на курортах (около 0,6-1,0 л в день в течение 20-30 дней).

В свете новых требований некоторые минеральные воды региона КМВ перестали соответствовать нормативам безопасности для упакованных (разлитых в бутылки) природных минеральных вод. Поэтому возникла необходимость изучения и уточнения процессов формирования и радиологического состава подземных минеральных вод региона КМВ в свете новых требований.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования выбраны минеральные воды Кисловодского, Ессентукского, Железноводского и других месторождений, розлив которых осуществляется в промышленных масштабах, а также осадочные и интрузивно-метаморфические породы района КМВ. При этом собраны и обработаны данные физико-химических анализов минеральных вод и пород, выполненные в испытательных лабораториях (центров) Пятигорского НИИ курортологии, АО «Кавминкурортресурсы» и других организаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Район КМВ расположен на Минераловодском субмеридиональном поднятии, сформировав-

шемся на стыке альпийской складчатой системы Большого Кавказа и Скифской плиты Предкавказской платформы. Это поднятие начинается у подножия г. Эльбрус и проходит через все Предкавказье. На территории КМВ это поднятие является частью Северо-Кавказской моноклинали, которая имеет двухъярусное строение. Нижний этаж сложен осадочно-метаморфическими и изверженными породами нижнего палеозоя и докембрия. Он является кристаллическим фундаментом Северо-Кавказской моноклинали, постепенно погружающейся с юга на север под углом 2-3°. Верхний этаж представлен комплексом осадочных пород мезокайнозоя мощностью от 100-200 м в районе Кисловодска до 2000-2500 м на севере региона КМВ.

В гидрогеологическом отношении регион КМВ является частью Северо-Кавказского артезианского бассейна. Породы осадочного чехла образуют своеобразный «слоеный пирог» водопроводящих (песчаники, трещиноватые известняки и др.) и водоупорных (глины) пород. Чередование водопроницаемых и водоупорных пластов пород способствует формированию напорных водоносных горизонтов и комплексов, по которым происходит движение подземных вод от области питания в горной части на север-северо-восток в область транзита и разгрузки.

Так как осадочный чехол разбит многочисленными тектоническими нарушениями и прорван «молодыми» (7-8 млн. лет) интрузиями гор-лакколитов (Юца, Джуца, Машук, Бештау и др.), то при этом формируются условия перетока подземных вод из одних водоносных комплексов в другие. К зонам глубоких тектонических нарушений приурочено поступление углекислого газа из пород фундамента, образующегося в результате термометаморфических процессов. Попадая в осадочную толщу, углекислый газ растворяется в подземных водах, образуя угольную кислоту, под влиянием которой активизируются процессы растворения и выщелачивания горных пород и насыщения подземных вод минеральными солями, формируя месторождения минеральных вод.

Химический состав образующихся минеральных вод зависит главным образом от литологии пород, наличия или отсутствия древних захороненных морских вод и солевых комплексов, термобарических условий в горизонтах, скорости движения подземных вод и других процессов (смешение, сульфатредукция, обменные процессы, радиоактивность и др.). Подземные воды в пределах КМВ приурочены в основном

к титон-валанжинскому, апт-альбскому и верхнемеловому водоносным комплексам [4, 7].

Радиоактивность природных подземных вод, как правило, обусловлена присутствием в них естественных радионуклидов (^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra , ^{210}Po , ^{40}K , ^{222}Rn , реже ^{232}Th , ^{230}Th), поглощенных водами из вмещающих пород [1]. Как установлено предыдущими исследованиями [2, 3] основными поставщиками радиоактивных элементов в подземные минеральные воды данного региона являются интрузивно-метаморфические породы палеозойского фундамента, гранитной дресвы титонского яруса верхней юры и неогеновых интрузивных тел гор лакколитов.

Так, содержание радия 226 в породах палеозойского фундамента колеблется от $1,53 \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы в гранитах до $5,6 \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы в кристаллических сланцах. Гранитная дресва содержит до $(4,9 \pm 1,16) \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы. Гранит-порфиры, граносиенит-порфиры лакколитов содержат до $(18-54) \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы. Концентрация радия 226 в породах осадочного чехла не превышает $(1,4-15,0) \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы в алевролитах и аргиллитах, $2,3 \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы в известняках, $(3,5-3,9) \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы в песчаниках и мергелях. Отдельные разности травертинов, отложившихся из минеральных вод естественных источников, содержат до $80 \cdot 10^{-12}$ г Ra/г породы.

Основными факторами формирования радионуклидного состава подземных вод региона КМВ является выщелачивание пород палеозойского фундамента, гранитной дресвы и интрузивных тел лакколитов. Породы кристаллического фундамента наиболее обогащены радионуклидами, но максимальной радиоактивностью обладают гранит-порфиры и граносиенит-порфиры гор лакколитов.

Содержание радиоактивных элементов в минеральных водах определяется двумя основными процессами: выщелачиванием из пород в миграционные формы (коллоиды, истинные растворы) и осаждением из вод теми или иными осадителями. Основными формами переноса радионуклидов являются истинные растворы, коллоидные частицы и органические соединения. В осаждении ведущую роль играет адсорбция коллоидными осадками и сокристаллизация. Обогащению природных минеральных вод радиоэлементами способствуют термальность вод, повышенные пластовые давления, насыщенность вод углекислым газом, фильтрация через породы с уран-ториевыми элементами.

В связи с тем, что минеральные воды на курортах используются не только для наружного применения в виде ванн, орошений и других процедур, но и для питьевого лечения и промышленного розлива в бутылки, то в обязательном порядке проводится оценка качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности в соответствии с п.5.3.5. НРБ-99/2009 по удельной суммарной альфа- и бета-радиоактивности. При значениях Аальфа и Абета ниже 0,2 и 1,0 Бк/кг, соответственно, дальнейшие исследования воды не являются обязательными. В случае превышения указанных уровней проводится анализ содержания отдельных радионуклидов в воде для оценки ее радиационной безопасности.

Уровни вмешательства для радионуклидов, активность которых в питьевой воде может превысить установленные условием $A_i < 0,1 \text{ УВ}$ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни вмешательства для основных природных радионуклидов в воде

природных радионуклидов в воде						
Радионуклид		^{238}U	^{234}U	^{232}Th	^{230}Th	^{228}Th
УВ, Бк/кг		3,0	2,8	0,60	0,65	1,9
Радио- нуклид	^{228}Ra	^{226}Ra	^{224}Ra	^{222}Rn	^{210}Pb	^{210}Po
УВ, Бк/кг	0,20	0,49	2,1	60,0	0,20	0,11

Так, содержание радионуклидов в углекислых минеральных водах Кисловодского месторождения колеблется для ^{238}U от $13 \cdot 10^{-7} \text{ г/дм}^3$ до $146 \cdot 10^{-7} \text{ г/дм}^3$, или 0,02-0,18 Бк/дм³. При этом его концентрации значительно ниже уровня вмешательства по этому показателю для питьевых вод (3,0 Бк/дм³). Содержание ^{226}Ra находится в пределах $(2-32) \cdot 10^{-12} \text{ г/дм}^3$, или 0,1-1,1 Бк/дм³, что в отдельных случаях превышает уровень вмешательства (0,49 Бк/дм³). Концентрации других радионуклидов значительно ниже допустимых уровней вмешательства.

Минеральные воды Ессентукского месторождения характеризуются низкими значениями альфа и бета активности, не превышающими уровней вмешательства по этим показателям для углекислых хлоридно-гидрокарбонатных минеральных вод верхнемелового водоносного горизонта на Западно-Быкогорском, Ново-Благодарненском и Горном участках, циркулирующих в трещиноватых известняках. При перетоке этих вод в вышележащие мергельные отложения эльбурганской свиты палеоцена наблюдается некоторое повышение альфа ак-

тивности в минеральных водах, выводимых скважинами на Центральном участке Ессентукского месторождения, до 0,3 – 0,9 Бк/кг. Также несколько растет и бета активность, но она значительно меньше уровня вмешательства по этому показателю. Содержание $^{210}\text{-полония}$, $^{210}\text{-свинца}$, $^{234}\text{-}$, $^{238}\text{-урана}$, $^{90}\text{-стронция}$, $^{137}\text{-цезия}$ и $^{40}\text{-калия}$ значительно ниже допустимых уровней вмешательства.

Пятигорское месторождение характеризуется большим разнообразием минеральных вод: углекислые, углекисло-сероводородные, соляно-щелочные, радоновые, азотные термы, которые в основном применяются на курорте для бальнеологического лечения. Для питьевого лечения используются углекислые и соляно-щелочные воды.

Термальные углекислые и углекисло-сероводородные хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатные натриево-кальциевые воды Пятигорска содержат повышенное количество $^{226}\text{-радия}$ $(30-40) \cdot 10^{-12} \text{ г/дм}^3$. В теплых и холодных водах этого типа количество радия колеблется от $5 \cdot 10^{-12}$ до $20 \cdot 10^{-12} \text{ г/дм}^3$. Содержание урана в этих водах обычное для пресных вод. Содержание радона весьма низкое.

Радоновые воды характеризуются широким диапазоном концентраций радона – от 185 до 12000 Бк/дм^3 радона, и могут содержать до $1,4 \cdot 10^{-11} \text{ г/дм}^3$ радия и $9,0 \cdot 10^{-6} \text{ г/дм}^3$ урана.

Железноводское месторождение углекислых минеральных вод расположено в северо-восточной части района КМВ, на склонах горы Железной. Более 90% минеральных вод Железноводска являются радиевыми. Максимальные концентрации ^{226}Ra фиксируются в термальных водах источников Славяновский ($190 \cdot 10^{-12} \text{ г/дм}^3$), Смирновский №2 ($130 \cdot 10^{-12} \text{ г/дм}^3$), Семашко ($93 \cdot 10^{-12} \text{ г/дм}^3$). Содержание урана в большинстве вод незначительно $(0,55-7,0) \cdot 10^{-7} \text{ г/дм}^3$ и только в некоторых водопрооявлениях достигает $17 \cdot 10^{-7} \text{ г/дм}^3$. Существенным отличием термальных вод является повышенное содержание радона (до 55,5 – 207,2 Бк/дм³).

В соответствии с [5, 6] если при совместном присутствии в воде нескольких природных и техногенных радионуклидов выполняется условие:

$$\sum_i^N A_i / \text{УВ}_i \leq 1, \text{УВ}_i \leq 1,$$

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

УВ_i - уровни вмешательства для i-го радионуклида, Бк/кг;

N - общее число определяемых радионуклидов в воде, то мероприятия по снижению радиоактивности питьевой воды не являются обязательными.

Если это условие не выполняется, но выполняется условие:

$$1 < \sum_i^N A_i / \sum_i^N B_i \leq 10, \quad 1 < \sum_i^N B_i \leq 10,$$

то должны осуществляться мероприятия по снижению содержания радионуклидов в воде с учетом принципа оптимизации [5, 6].

Применительно к лечебно-столовым и лечебным водам КМВ использование принципа оптимизации основывается на их ограниченном потреблении и на не превышении квот от предельного годового поступления конкретных радионуклидов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование радиологического состава минеральных вод региона КМВ происходит в результате геологической эволюции взаимодействия подземных вод с горными породами в разнообразных термобарических и геохимических условиях. При этом на отдельных месторождениях образуются воды с повышенными концентрациями таких природных радионуклидов как 226-радий, радон и др. Радоновые воды успешно применяются на Пятигорском курорте для лечения опорно-двигательного аппарата, кожных, гинекологических и других заболеваний. Радий-радоновые воды Железноводского месторождения используются для лечения мочеполовой системы, желудочно-кишечного тракта и других заболеваний.

Для большинства минеральных вод региона КМВ суммарная альфа-радиоактивность не превышает 0,2 Бк/кг или несколько выше этого значения. Превышение суммарной бета-активности отмечается только в минеральных водах Железноводского месторождения. Ос-

новной вклад в суммарную радиоактивность вносят изотопы радия.

Учитывая природные концентрации радионуклидов в минеральных водах региона КМВ и следуя нормам радиационной безопасности (не более 0,1 мЗв в год) необходимо ограничить потребление минеральных вод Железноводского курорта (Смирновская, Славяновская) не более 60 л в год, а «Нарзана» - 300 л в год. Эти условия соблюдаются при питьевом лечении на курортах курсами по 200-300 мл минеральной воды 3 раза в день, до 20-30 дней на курс, не более 2 курсов в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахур А.Е. Радиоэкологическое состояние подземных вод Московского региона – Разведка и охрана недр, 9, 2011 – С. 10-14.
2. Гусаров И. И., Ляшенко С. И., Семенов Б. Н. и др. США: проблемы радонотерапии // Вопр. курортол. - 2003. - № 6. - С. 44-49.
3. Ляшенко С.И. Закономерности формирования радиоактивных вод района КМВ – Автореферат дис. к.г.-м.н., Пятигорск, 1986. -18 с.
4. Михайленко В.И., Ляшенко С.И., Потапов Е.Г. и др. Кавказские Минеральные Воды: К двухсотлетию 1903-2003 гг. – Пятигорск, изд-во Вестник Кавказа, 2003. – 400 с.
5. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)
7. Потапов Е.Г., Данилов С.Р., Ляшенко С.И. Современное состояние природных лечебных ресурсов особо охраняемого эколого-курортного региона Российской Федерации — Кавказских Минеральных Вод // Курортная медицина. - 2015. - №1. - С. 15-17.