

## Водоснабжение населённых пунктов из подземных источников, загрязнённых радиоактивным газом радоном-222

*Е.В. Левин, к.ф.-м.н., Р.Ф. Сагитов, к.т.н., ООО «НИПИ-ЭП»; В.Д. Баширов, д.с.-х.н., В.В. Демидочкин, к.т.н., С.В. Василевская, к.т.н., Е.В. Волошин, к.т.н., ФГБОУ ВО Оренбургский ГУ*

В настоящее время в Российской Федерации есть потребность для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения использовать подземные источники водоснабжения. Однако в этих водах может присутствовать радиоактивное загрязнение, обусловленное наличием радиоактивного газа радона и его изотопов, что делает опасными их использование для хозяйственно-питьевого водоснабжения [1].

Концентрация радона в естественных источниках определяется количеством распада его ядер в единице массы или объёма вещества (кг или л) в течение 1 сек. В международной системе (СИ) за единицу радиоактивности принят беккерель (Бк), который соответствует радиоактивному распаду 1 ядра в сек. в 1 кг вещества. Также используется и внесистемная единица Кюри (1 Ки =  $37 \cdot 10^9$  Бк).

Содержание радона в артезианских водах колеблется от 1 до 300 нКи/л [2]. В зависимости от концентрации радиоактивного газа различают: воды с малой концентрацией – от 5 до 40 нКи/л (0,2–1,5 кБк/л); воды со средней концентрацией – от 40 до 200 нКи/л (1,5–7,5 кБк/л); воды с высокой концентрацией – выше 200 нКи/л (>7,5 кБк/л).

В России уровень содержания радона в грунтовых водах колеблется от 10 до 100 Бк/л, и только в отдельных районах доходя до сотен и даже тысяч Бк/л. Достаточно большая часть территории Российской Федерации подвержена потенциальной радоноопасности. Во многих случаях подземные воды, обладающие радиоактивностью, являются единственным источником питьевой воды для сотен малых населённых пунктов России.

Газ радон является продуктом радиоактивного распада материнских ядер, находящихся в земной коре. Ввиду химической инертности он относительно легко покидает кристаллическую решётку «родительского» минерала и попадает в подземные воды, природные газы и воздух. Радон не имеет стабильных изотопов. Наиболее устойчив  $^{222}\text{Rn}$  с периодом полураспада  $T_{1/2} = 3,8235$  сут., входящим в природное радиоактивное семейство урана-238 (семейство урана – радия) и являющимся непосредственным продуктом распада радия-226. Чаще всего название радон относят именно к этому изотопу. В семейство тория-232 входит  $^{220}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 55,6$  с), иногда его называют торон (Tn). В семейство урана-235 (урана – актиния) входит  $^{219}\text{Rn}$  ( $T_{1/2} = 3,96$  с), его называют актинон (An).

Поскольку наиболее долгоживущим из природных изотопов радона является  $^{222}\text{Rn}$ , именно его содержание в этих средах максимально. Радон очень хорошо растворяется в воде (460 мл/л) и при контакте подземных вод с породами, содержащими уран-238 или радий-226, происходит быстрое насыщение радиоактивным газом.

В природе радон постепенно просачивается из недр на поверхность, где сразу рассеивается в воздухе, в результате чего его концентрация остаётся ничтожной и не представляет опасности. Проблемы возникают, когда он проникает в помещения, где отсутствует достаточный воздухообмен. В этом случае, учитывая, что радон в 7,5 раза тяжелее воздуха, содержание его в замкнутом пространстве может достичь опасных концентраций [3].

В случае, когда источником водоснабжения на радоноопасных территориях являются скважины, радиоактивный газ попадает в жилые дома с водой и также может скапливаться в значительных количествах в кухнях и ванных комнатах. При приёме душа или ванны газ радон находится в аэрозольном состоянии и человек вдыхает его вместе с парами воды. Такая ингаляция наносит наибольший вред здоровью человека, т.к. сильно увеличивает риск возникновения рака лёгких. При поступлении радона с питьевой водой в желудочно-кишечный тракт человека, этому риску подвергаются желудок, особенно верхняя его часть, и пищевод. Кроме того, радон растворяется в жировых тканях в десятки раз лучше, чем в воде, что способствует накоплению радиоактивных продуктов его распада в человеческом организме.

В ходе радиоактивных превращений изотопы радона образуют короткоживущие элементы: полоний-210, -216, -218, излучающие альфа-частицы, а также свинец-212, -214 и висмут-212, -214, излучающие бета-частицы. При внешнем облучении альфа-частицы в 20 раз опаснее гамма-квантов, а при внутреннем – более чем в 100 раз! Установлено, что активность именно дочерних продуктов радона составляет 90% всей радиации, исходящей от родоначальника. Например, радон-222 в цепи ядерных преобразований порождает полоний-218 ( $T_{1/2} = 3,1$  минуты), полоний-214 ( $T_{1/2} = 0,16$  миллисекунд) и полоний-210 ( $T_{1/2} = 138,4$  суток). Эти элементы также испускают разрушительные альфа-частицы с энергией 6,12 МэВ, 7,88 МэВ и 5,41 МэВ соответственно. Аналогичные процессы наблюдаются и с родительскими изотопами радон-220 и радон-219.

У радона сравнительно малый период полураспада, и его собственное излучение не создало бы и десятой доли возникающих проблем, даже с учётом того, что он, как и любой альфа-излучатель, доста-

точно опасен при внутреннем облучении. Однако по-настоящему страшны радиоактивные продукты его распада, в особенности альфа-активные полоний-218 и полоний-214. Они, в отличие от собственно радона, химически активны, достаточно прочно удерживаются организмом и эффективно воздействуют на живые ткани опаснейшим внутренним альфа-излучением. Именно поэтому вдыхание короткоживущих изотопов радона даёт вклад в эффективную эквивалентную дозу около 50% от общей дозы облучения, получаемой человеком в процессе жизнедеятельности.

Снижение влияния радона и его дочерних продуктов распада на человека актуально в связи с увеличением риска возникновения онкологических патологий. Радон может стать причиной ряда серьёзных заболеваний, в том числе генетических изменений в организме человека. Наиболее опасен этот радиоактивный газ для детей в силу более низкой сопротивляемости детского организма. Только в качестве причины рака лёгких радон занимает 2-е место после курения. Согласно данным Международного комитета по радиационной защите (МКРЗ), риск смерти от рака лёгких, вызванного содержанием в воздухе помещений радона, сопоставим с частотой смерти от автомобильных аварий (104). Агентство по защите окружающей среды США считает, что радон виновен в ежегодной смерти примерно 20 тыс. жителей США [4, 5].

Проблемой радона в Российской Федерации по ряду причин занимаются не так давно и не так активно, как на Западе. Отчасти это вызвано тем, что, в отличие от США и Европы, у нас не так развито частное домовладение, где используются индивидуальные скважины. Для жителей городских квартир проблема радона в воде не так актуальна. А в малых населённых пунктах и сельской местности об этой проблеме вообще мало кто знает, поэтому запроса общества на её решение со стороны властей нет.

В 1995 г. в РФ принят Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» и действуют специальные нормы радиационной безопасности. Предельные величины концентрации радона в воздухе помещений можно найти в таких нормативных документах, как НРБ-99 или СП 2.6.1.758-99 (Нормы радиационной безопасности), ОСПОРБ-99 (Основные санитарные правила), СП 2.6.1.1292-2003 (Санитарные правила), а также в методических указаниях МУ 2.6.1.715-98. Российские нормы устанавливают верхнюю границу концентрации радона в воде, при которой требуется вмешательство, равной 60 Бк/л. В США по рекомендациям Агентства по охране окружающей среды (USEPA) предельная концентрация радона в воде не должна превышать 11.1 Бк/л.

Радиоактивный газ радон по территориям проживания населения в России распределён неравномерно. В силу геологических особенностей

природных условий в группу радоноопасных можно включить отдельные районы Урала и Карелии, Ставропольского, Алтайского и Красноярского краёв, Читинской, Томской и многих других областей. Сегодня составляются географические карты активности радона на территории всей страны, которые отражают общую радоновую картину. Однако в каждом конкретном месте активность радиоактивного газа может отличаться в несколько раз в ту или другую сторону и многократно превышать предельно допустимые нормы. Поэтому надёжному решению вопроса радиационной безопасности при потреблении воды из подземных источников могут способствовать только периодический мониторинг и конкретные мероприятия по очистке воды от радиационного загрязнения [5, 6].

Решение вопроса по удалению радона из воды, поступающей в водопроводную сеть населённых пунктов, является важнейшей задачей по снижению угрозы радиоактивного облучения и рисков возникновения онкологических заболеваний населения. Благодаря вступившему в силу закону о радиационной безопасности со стороны региональной исполнительной власти принимаются конкретные шаги в этом направлении. Во многих регионах приняты местные законы, разработаны программы и направляются средства на реализацию мероприятий по снижению влияния радона на жителей. Проводится ежегодный мониторинг качества воды на радиационную составляющую. С каждым годом количество завершённых мероприятий по удалению радона из систем хозяйственно-питьевого назначения, питающихся из подземных источников, загрязнённых радиоактивным газом, растёт.

Несмотря на специфичность данного вида загрязнения воды, способы её очистки не требуют разработки сложных технологических схем. Например, в различных источниках можно найти данные, указывающие на высокую эффективность удаления радона на фильтрах с активированным углём. Этим методом можно удалить до 99,7% радона, содержащегося в воде. Со временем наблюдается снижение качества очистки до 79%. Использование фильтра с натрий-катионитом перед угольным фильтром позволяет удерживать последний показатель на уровне 85%. Думаем, что хороший эффект даст и фильтрование через полупроницаемые мембраны (обратный осмос) [7].

Самым простым и надёжным способом доведения уровня радиоактивного излучения до нормативных 60 Бк/с, на наш взгляд, является обыкновенная отдувка радиоактивного газа воздухом. А учитывая классическую схему водоснабжения, широко распространённую в малых населённых пунктах и даже отдельных городских микрорайонах, основанную на использовании в качестве напорных резервуаров башен Рожновского, решение этого вопроса становится ещё более простым. Водонапорные башни системы Рожновского получили

своё широкое распространение в системе водоснабжения за счёт водонепроницаемости баков, малого веса и заводского изготовления деталей, обеспечивающих относительно быстрый монтаж башен на месте строительства. Безнапорная аэрация позволяет снизить концентрацию радона в десятки раз, просто подавая определённый объём воздуха в толщу воды через мелкопузырчатые аэраторы. Работоспособность системы всегда можно проверить по работе воздухоудовного компрессора.

В настоящее время для большинства систем хозяйственно-питьевого назначения малых населённых пунктов РФ принят способ удаления радона из воды при помощи аэрации. Однако, несмотря на простоту решения вопроса, во многих случаях технические решения осуществлены без учёта их технико-экономической эффективности и надёжности системы в целом. Например, установка аэраторов у основания башни является ошибочной, так как требует установки мощных и дорогих компрессорных установок, которые будут выдавать постоянное количество воздуха с постоянным напором, определённым положением максимального уровня воды в башне. Кроме того, нижняя часть башни, являясь несущей и испытывающей максимальные нагрузки, будет подвергаться усиленной коррозии в связи с повышением содержания кислорода в воде. К сожалению, во многих случаях именно такие решения были приняты. Это уже легло немалым бременем на бюджеты регионов при приобретении оборудования и его монтаже, но ещё большим злом для муниципалитетов будет являться эксплуатация этих систем [7].

Для снижения затрат на установку и эксплуатацию систем для удаления радона из артезианской воды необходимо применить научный подход. Следует определить минимальное, но достаточное для эффективного удаления радона до нормативного значения из воды заглубление аэраторов под уровень, что позволит сократить затраты на приобретение и эксплуатацию компрессорных установок. Подбор самих аэраторов также играет немаловажную роль, т.к. от них будет зависеть эффективность процесса удаления радона из воды, а соответственно и эксплуатационные показатели системы в целом. В конечном итоге наиболее эф-

фективным устройством станет то, которое будет максимально надёжным, не потребует постоянного и дорогого обслуживания, а эксплуатационные затраты на электроэнергию будут стремиться к возможному минимуму. Кроме того, процесс удаления радона из системы хозяйственно-питьевого водоснабжения должен подвергаться непрерывному мониторингу.

Для сравнения нами были рассмотрены два варианта технического решения очистки питьевой воды от радиоактивного газа радона в водонапорной башне Рожновского (ВБР):

I вариант – отдувка осуществляется при помощи резиновых мембранных аэраторов с получением пузырька воздуха на отрыве от поверхности 3–5 мм, установленных в устье водонапорной башни на глубине 18 м от максимального уровня воды в ВБР, с подачей воздуха компрессором роторно-винтового типа 1 МК/03 с потребляемой мощностью 4 кВт;

II вариант – отдувка осуществляется при помощи титановых аэраторов с получением пузырька воздуха на отрыве от поверхности 50–100 микрон, установленных на поплавке и размещённых на глубине 4 м под уровнем воды в ВБР, с применением трёхлопастного компрессора (компрессор Рутса) с мощностью двигателя от 0,75 кВт до 2,2 кВт.

При проведении сравнительного анализа двух вариантов технического решения выявили следующее (табл. 1):

1) расположение аэраторов в нижней части ВБР (I вар.) является менее приемлемым по сравнению с вариантом размещения их под уровнем воды на глубине 4 м (II вар.), т.к. это приведёт к усиленной коррозии конструкции ВБР по всей высоте и снизит прочностные характеристики ствола башни, в т.ч. в нижней её части, испытывающей максимальные нагрузки;

2) эффективность аэрации с помощью титановых аэраторов (II вар.) в 3,75 раза выше, чем предложенные в I вар.;

3) мощность компрессорного оборудования, представленного в I вар., а соответственно и его стоимость, энергопотребление и эксплуатационные затраты намного превышают данные показатели для компрессорного оборудования, приведённого во II вар.;

1. Сравнительные характеристики двух вариантов технических решений

Наименование характеристики	Вариант		
	I	II	
Высота слоя аэрируемого объёма воды, м	до 18	не более 4	
Эффективность аэраторов, %	16	60	
Мощность двигателя компрессора, кВт	4	0,75	2,2
Годовой расход электроэнергии, кВт/ч	35040	6570	19272
Годовые затраты на электроэнергию	157680	29565	86724
Годовой расход масла, л	21,6	12,4	13,8
Годовые затраты на масло, руб.	7560	4340	4830
Стоимость 1 м <sup>3</sup> очищенной воды, руб.	2,9	0,39	1,05
Затраты на оборудование, тыс. руб.	590	398	449

## 2. Результаты исследования качества воды на концентрацию радона-222, Бк/кг

Место отбора образцов	Метод исследования	Гигиенический норматив	Результаты исследования		Коэффициент снижения концентрации радона
			до очистки	после очистки	
Оренбургская обл., Адамовский р-н, п. Баймурат	МР по исп. рад. комплекса «Прогресс» для исслед. проб воды от 27.12.01 г.	60	130,2	22,6	5,8
Оренбургская обл., Кваркенский район, с. Кваркено, скважина № 6	МР по исп. рад. комплекса «Прогресс» для исслед. проб воды от 27.12.01 г.	60	320,3,8	33,19	37,3
Оренбургская обл., Домбаровский р-н, п. Домбаровский	МВИ 40090.3Н700 от 22.12.2003 г.	60	246,8	15,3	16,1
Оренбургская обл., Домбаровский р-н, с. Ушкаты	МВИ 40090.3Н700 от 22.12.2003 г.	60	67,21	6,44	10,4
Оренбургская обл., Адамовский р-н, п. Аневка	МВИ 40090.3Н700 от 22.12.2003 г.	60	382,6	48,65	7,9

4) экономический эффект только от экономии электроэнергии, связанной с использованием менее мощного трёхлопастного компрессора («САВ»), во II вар. составит не менее 73000 руб. в год (экономический эффект может быть увеличен за счёт оборудования установки САВ проточным датчиком определения радона в воде; за счёт более эффективной аэрации установка будет работать не постоянно, а лишь при превышении показателя содержания радона-222).

В таблице 2 приведены результаты исследования качества воды на концентрацию радона в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения при использовании титановых аэраторов, заглублённых под уровень воды в ВБР на 4 м (II вар.). Во всех случаях получен положительный результат – концентрация радона ниже нормативной величины.

ООО «Научно исследовательский и проектный институт экологических проблем» (г. Оренбург) совместно с кафедрой теплогазоснабжения, вентиляции и гидромеханики Оренбургского государственного университета ведут работы по разработке автоматизированного аппаратного комплекса очистки воды от радона в водонапорных башнях Рожновского. В настоящее время запланированы экспериментальные исследования, целью которых

является разработка экономически выгодного автоматизированного аппаратного комплекса для удаления радона-222 из воды в башнях Рожновского. Ведутся исследования по установлению зависимостей коэффициента снижения концентрации радона-222 от глубины погружения, площади и взаимного расположения аэраторов, а также количества подаваемого воздуха на аэрацию. Это позволит разработать методику удаления радона из воды с учётом минимальной стоимости оборудования и его эксплуатации.

### Литература

1. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». № 63-ФЗ, 31 марта 1999 г. // Российская газета. 1999. 6 апреля.
2. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): гигиенические нормативы. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации и экспертизы Минздравсоцразвития России, 2010.
3. Методические указания. Внедрение и применение ГОСТ 8.417-81 «ГСИ. Единицы физических величин» в области ионизирующих излучений. РД 50-454-84. М.: Изд-во стандартов, 1990.
4. Довгуша В.В., Тихонов М.Н., Решетов В.В. и др. Радиационная обстановка в Уральском регионе России. В 2 част. СПб.: ВИФ «Норд-Балт», 2000.
5. Довгуша В.В., Тихонов М.Н., Егоров Ю.Н. Радиационная обстановка в Приволжском регионе России. СПб., 2008.
6. Тихонов М.Н. Радонная радиация: источники, дозы и нерешённые вопросы // Экология промышленного производства. 2008. Вып. 1.
7. Крисок Э.М. Основные понятия о радиационной безопасности // АНРИ. 2003. № 1.