

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Институт «Архитектурно-строительный»
Кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы»

ВКР МАГИСТРА
ПРОВЕРЕНА
Рецензент
Р.М. Каримова

_____ 20__ г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Д.В. Ульрих

_____ 20__ г.

Технико – экономическое сравнение методов удаления из воды
радиоактивных элементов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ МАГИСТРА
ЮУрГУ–08.04.01.2021.305-04.043 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР
магистра

Е.В. Николаенко

_____ 20__ г.

Автор ВКР
магистр группы АС-227

О.А. Самодолова

_____ 20__ г.

Нормоконтролер

Е.В. Николаенко

_____ 20__ г.

Челябинск
2021

РЕФЕРАТ

Самодолова О.А. Выпускная квалификационная работа «Технико – экономический анализ очистки воды от радиоактивных загрязнений» – Челябинск: ЮУрГУ, Архитектурно-строительный институт, 2021. – 115 с. – библи. 69 назв.

В выпускной квалификационной работе представлен обзор радиоактивных загрязнений в питьевой воде, рассмотрены вопросы, связанные с очисткой питьевой воды от данных загрязнений, произведено технико – экономическое сравнение вариантов использования локальных и централизованных очистных сооружений для хозяйственно – питьевого водоснабжения.

Цель работы – сравнение методов удаления из природных вод радиоактивных загрязнений с целью использования ее для питьевого водоснабжения, определить эффективность каждого рассмотренного метода. Для выбранного метода выполнить экономический расчет затрат для локальных очистных сооружений (ЛОС) и централизованного водоснабжения.

В первом разделе представлен обзор радиоактивных загрязнений подземных источников водоснабжения. Приведены исследования о влиянии радиоактивных элементов, в том числе радона, на организм человека. Представлены требования нормативных документов разных стран по содержанию радиоактивных загрязнений в питьевой воде.

Во втором разделе представлен анализ методов удаления радиоактивных загрязнений из воды. На основании опубликованных данных приведены исследования по очистке подземных вод от радиоактивных загрязнений, проанализированы их преимущества и недостатки.

Третий раздел посвящен технико – экономическому сравнению вариантов использования локальных и централизованных очистных сооружений для хозяйственно – питьевого водоснабжения поселка.

Оглавление

Введение.....	8
1 Обзор радиоактивных загрязнений подземных источников водоснабжения..	10
1.1 Основные радиоактивные элементы встречающиеся на Земле	10
1.2 Влияние радона на организм человека	16
1.3 Радиоактивное загрязнение питьевой воды в мире и требования нормативных документов разных стран.....	29
2 Анализ методов удаления радиоактивных загрязнителей из воды	49
2.1 Обзор используемых методов.....	49
2.2 Удаление радона из воздуха поступающего при очистке воды при использовании метода аэрации	65
3 Техничко – экономическое сравнение систем удаления радиоактивных загрязнений из воды.....	71
3.1 Сведения о объекте	71
3.2 Локальная система водоснабжения индивидуального дома в коттеджном поселке	75
3.3 Централизованная система водоснабжения коттеджного поселка.....	82
3.4 Сравнение методов водоподготовки.....	108
Заключение	111
Библиографический список	113

Введение

С начала 1980-х годов и до сих пор для Челябинска очень остро стоит вопрос резервных источников питьевого водоснабжения. Несмотря на то, что Челябинская область славится множеством озер, все они слишком малы по объему, и некоторых из них хватит лишь для того, чтобы обеспечить город-миллионник водой всего на две недели.

Питьевое водоснабжение Челябинска и его окрестностей осуществляется за счет Шершневого водохранилища, но качество воды в нем неукоснительно падает. Реальным выходом может стать поиск альтернативного независимого источника питьевой воды под землей.

В последние годы, Челябинск активно прирастает за счет строительства коттеджных посёлков, однако не всегда имеется возможность подключить эти посёлки к централизованной системе водоснабжения города. В связи с этим возникает проблема водоснабжения, которая решается за счет использования индивидуальных водозаборных скважин. Но здесь появляется проблема качественной очистки питьевой воды от радиоактивных загрязнений, так как подземные воды региона характеризуются высоким содержанием радиоактивных элементов (урана, радона, радия и др.), и слагают так называемую «гранитную ось» Урала.

Актуальность работы заключается в необходимости решения острой проблемы водоснабжения данных посёлков, и поэтому решение вопросов удаления радона из питьевой воды может послужить примером для будущих проектов строительства подобных поселков.

Идея работы заключается в обеспечении водой питьевого качества населения поселка «Терема» в необходимом количестве и требуемого качества по приемлемой цене.

Объектом исследования являются радиоактивные загрязнения, встречающиеся в природных водах.

Целью работы является технико – экономический анализ очистки воды хозяйственно – питьевого назначения от радиоактивных загрязнений (радона) на примере коттеджного поселка «Терема» Кременкульского сельского поселения.

Для решения поставленной цели выполнены следующие **задачи**:

- Составлен обзор существующих радиоактивных загрязнений подземных источников водоснабжения;
- Рассмотрены существующие методы очистки воды от радиоактивных загрязнений;
- Проведен расчет и технико – экономическое сравнение затрат на 1 м³ очищенной воды, для индивидуальной системы очистки и централизованных очистных сооружений поселка.

1 Обзор радиоактивных загрязнений подземных источников водоснабжения.

1.1 Основные радиоактивные элементы встречающиеся на Земле

С момента своего образования земная кора содержит естественные радиоактивные элементы (ЕРЭ), которые создают естественный радиационный фон. Радиоактивные изотопы калия-40, рубидия-87 и члены трех радиоактивных семейств, происходящие от урана-238, урана-235 и тория-232, присутствуют в горных породах, почве, атмосфере, водах, растениях и тканях живых организмов. Эти родительские нуклиды существуют около 4,5 миллиардов лет.

Они сохранились только потому, что периоды полураспада основателей радиоактивных семейств очень велики и составляют для урана-238 - 4,5 – 109 лет, урана-235 - 0,7 – 109 лет, тория-232 - 14 – 109 лет. Члены радиоактивных семейств тесно связаны друг с другом. Каждое звено радиоактивного ряда формируется со скоростью, определяемой периодом полураспада предыдущего нуклида, и распадается в соответствии со своим периодом полураспада. Таким образом, через некоторое время в цепочках распада устанавливается равновесие, то есть сколько дочерних элементов распадается, такое же количество рождается в соответствии с периодами полураспада родительских нуклидов. После долгой цепочки превращений в конечном итоге образуются стабильные изотопы свинца. Единственный газообразный продукт, который образуется при распаде трех семейств природных радионуклидов (ЕРЭ), - это радон. Наибольший вклад в газовую составляющую ЕРЭ вносят радиоактивные семейства урана-238 и тория-232, при распаде которых образуются радиоактивные радон-222 и радий-220 (последний часто называют торон по имени исходного родительского нуклида).

В процессе распада он продуцируют семейство других альфа-излучателей, которые в целом называют дочерними продуктами распада (ДПР). Причем в отличие от радона и торона ДПР представляют собой не газы, а твердые вещества - нестабильные изотопы свинца, висмута, полония и таллия, которые сами по себе являются мощными источниками α -излучения [1].

Ряды распада представлены на рис. 1:

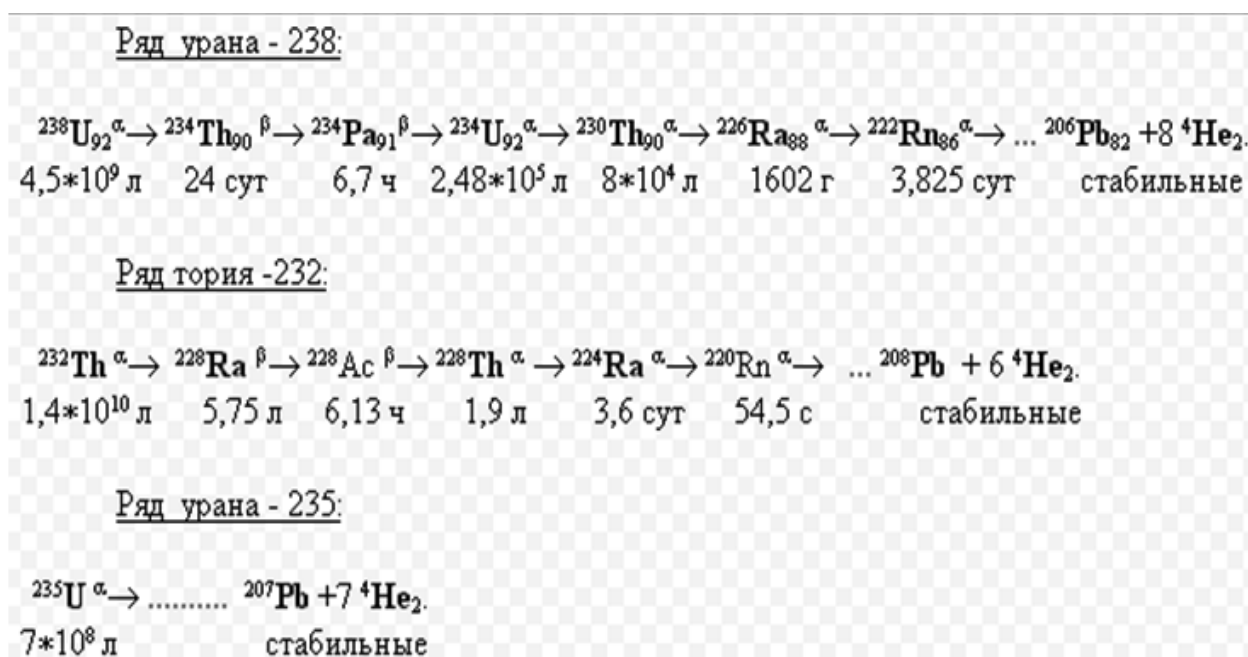


Рисунок 1 – Распад основных радиоактивных семейств

Наибольший вклад в суммарную дозу облучения вносят:

- уран – изотопы с массой ядра 234 и 238;
- радий – изотопы 226 и 228;
- радон – 222;
- полоний – 210;
- свинец – 210;
- торий – изотопы 228, 230, 232.

Кроме вышеперечисленных веществ, во время анализа определяют изотопы калия-40, техногенные радионуклиды: стронций-90, иттрий-90 и цезий-137.

В среднем 2/3 эффективной эквивалентной дозы радиации, которую человек получает от естественных источников радиации, приходится на радиоактивные вещества, попавшие в организм с пищей, водой и воздухом (внутреннее облучение). Очень небольшая часть этой дозы приходится на радиоактивные изотопы, такие как углерод-14 и тритий, которые образуются под действием космического излучения. Все остальное поступает из земных источников. В среднем человек получает около 180 мкЗв / год за счет калия-40, который усваивается организмом вместе с нерадиоактивными изотопами калия, необходимыми для его жизнедеятельности [2].

В природной воде содержатся вещества, с которыми она контактировала во время своего круговорота в природе. Некоторые типы горных пород содержат радиоактивные элементы, поэтому при контакте источника питьевой воды с такими породами радионуклиды могут накапливаться в воде до опасных уровней. К преобладающим радионуклидам в воде относятся:

- радий (и продукты его распада)
- торий (и продукты его распада)
- уран (и продукты его распада) [3].

Концентрация этих веществ зависит от их содержания в породах, их растворимости и времени контакта с водой. Радиоактивность вод вызвана переносом радионуклидов из вмещающих пород в воду в результате растворения нестабильных минералов или выщелачивания (перенос элемента из минерала без нарушения его кристаллической структуры).

Естественная радиоактивность вод обусловлена присутствием продуктов распада урана – 238 и тория – 232, радионуклидами радона – 222 и 220, радия – 226, 228, 224, урана - 234, калия – 40, полония – 210 и свинца – 210.

При оценках радиационного качества питьевых вод принято учитывать из ЕРН – калия – 40, радионуклиды рядов урана – 238 и тория – 232.

Не рассматриваются ЕРН ряда урана – 235 (его содержание в природном уране в 22 раза меньше, чем урана – 238). Удельные активности космогенных радионуклидов малы и при рассмотрении радиационной безопасности питьевой воды вкладом от облучения этими радионуклидами можно пренебречь.

Радиоактивность вод колеблется в очень широком диапазоне в зависимости от радиоактивности вмещающих пород, интенсивности их выветривания, механизма выноса радионуклидов из этих пород водой, гидрогеологических условий, химического состава воды, формы нахождения ЕРН в воде, близости берега и глубины водоема и даже климатических условий. Вариации содержания ЕРН в водах даже одного типа в данной климатической зоне могут достигать одного порядка, а в разных климатических зонах - 2–3 порядков и более. Установить какие-либо фоновые значения содержания ЕРН в природных водах сложно [4].

В отличие от горных пород и илов в природных водах, как правило, нарушается радиоактивное равновесие в рядах урана и тория. Это связано с различием химических свойств и миграционных возможностей радиоактивных элементов и их изотопов. Таким образом, миграционная способность радионуклидов урана намного превосходит миграционную способность радионуклидов тория, а из двух изотопов наиболее короткоживущий будет более подвижным, поскольку он не связан с кристаллической решеткой при выщелачивании и не имеет время диффундировать из раствора в кристаллическую структуру вмещающих пород.

Типичные соотношения активностей ЕРН в природных водах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Соотношения активностей ЕРН в природных водах

Элемент	Поверхностные воды	Воды осад. пород	Воды кристал. пород
$^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$	11,5	1,225	25 max 15
$^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$	0,0010,5	-	0,05
$^{226}\text{Ra} / ^{238}\text{U}$	0,03	315 (обычно<1)	-
$^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$	0,1	-	0,1 max 3
$^{228}\text{Th} / ^{232}\text{Th}$	0,925	2,412	-
$^{230}\text{Th} / ^{232}\text{Th}$	1,045	1,6	2,2
$^{226}\text{Ra} / ^{232}\text{Th}$	0,425	0,0125 ср. 0,4	0,130 ср. 0,2
$^{224}\text{Ra} / ^{228}\text{Ra}$	-	0,120 ср. 1,0	0,0760 ср. 1,4

В подземных водах содержание урана – 238 больше, чем в поверхностных; так, содержание урана в подземных водах выше содержания его в поверхностных водах.

Степень нарушения радиоактивного равновесного отношения $^{222}\text{Rn}/^{226}\text{Ra}$ в подземных водах больше, чем в поверхностных в результате эманирования радона – 222 из горных пород и растворения его в воде. Содержание радона - 222 в воде из глубоких скважин может превышать 100 кБк/м³, в то время как для большинства потребителей питьевой воды из поверхностных источников и из водоносных горизонтов содержание радона - 222 не превышает 1 кБк/м³.

Важность понимания цепочек распада иллюстрируется ростом радона-222 по мере распада урана-238. Уран был широко распространен по всей земной коре в момент ее образования. Учитывая возраст Земли, медленно

прогрессирующая цепочка распада урана обычно производит радон – 222. Поскольку наиболее долгоживущим из природных изотопов радона является радон – 222, его содержание в этих средах максимально. Установлено, что активность дочерних продуктов радона составляет 90% всей радиации, исходящей от предка. Радон – 222 в цепи ядерных преобразований порождает полоний-218 (период полураспада 3,1 минуты), полоний-214 (0,16 миллисекунд) и полоний-210 (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 [5].

В окружающую среду радон поступает из почвы, строительных материалов, воды, при сжигании природного газа. Концентрация радона в атмосферном воздухе в среднем составляет около 5 Бк/м³, и существенно различается в зависимости от локализации рисунок 2 [6].

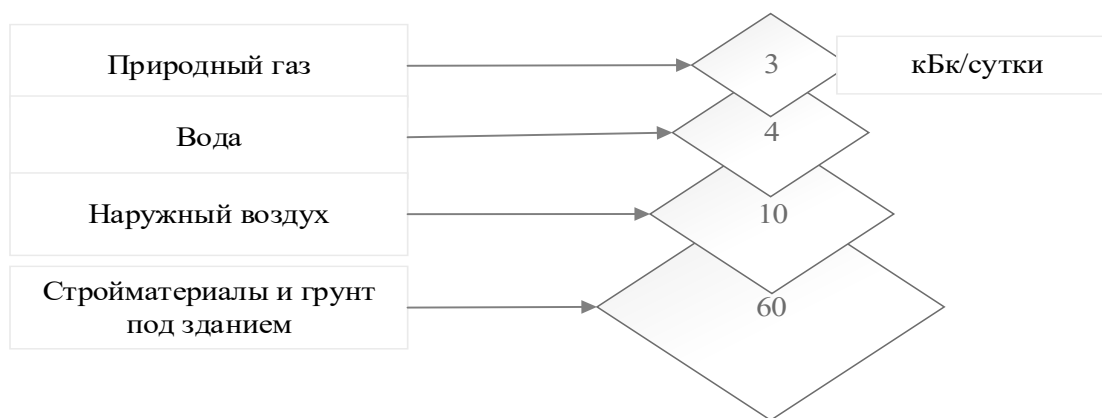


Рисунок 2 – Поступление радона в окружающую среду

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 [7].

Величина объемной активности радона в подземных водах прямо зависит от материнских пород и локальных геологических условий. На проявление

радона в подземных водах влияет местоположение водозаборной скважины, а также глубина залегания водоносного горизонта. Для водоносных горизонтов, залегающих ближе к поверхности, характерно меньшее содержание радона, чем в более глубоких. Однако при длительной откачке воды из неглубокого горизонта отмечается постепенное увеличение его активности на сотни Бк/л, за счет подтока воды из более глубоких слоев [8-10].

1.2 Влияние радона на организм человека

Ущерб здоровью от ионизирующего излучения включает в себя не только угрозу смерти вследствие облучения, но также уменьшение продолжительности жизни, различные заболевания и наследственные эффекты. Предполагается, что для стохастических (отдаленных) последствий порогов нет и их вероятность пропорциональна полученной дозе, таким образом, безопасной дозы облучения не существует.

1.2.1 Опасность радона

Наиболее опасен для человека радон – 222, альфа-излучатель. При вдыхании с воздухом он вызывает внутреннее облучение легких.

Радон вместе с дочерними продуктами распада вносит примерно 70 % годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации [11-13], табл. 2., рис.3

Вдыхание радона и его дочерних продуктов приводит к облучению легочной ткани человека. Дочерние продукты радона осаждаются в клетках дыхательных путей, где α -частицы могут повреждать ДНК и потенциально приводить к раку легких. Например, распад ядер радона и его дочерних

Таблица 2 – Вклад радона в суммарную дозу облучения населения в некоторых странах [6]

Страна	Вклад (%)
Весь мир	36
США	55
Англия	50
Финляндия	90
Россия	30
Украина	70-75



Рисунок 3 – Вклад радона в суммарную дозу облучения населения в некоторых странах

изотопов в легочной ткани вызывает микроожог, поскольку вся энергия альфа-частиц поглощается практически в точке распада.

Радон – второй по частоте (после курения) фактор, вызывающий рак лёгких [1, 7, 14-15]. Рак легких, вызванный радоновым облучением, является шестой по значимости причиной смерти от рака. Вероятность такого заболевания зависит от того, сколько радона находится в помещении и как долго человек находится в нем. Особенно опасно сочетание воздействия радона и курения (увеличивает риск заболевания).

Доза, получаемая базальными клетками бронхиального эпителия, существенно зависит от возраста, уменьшаясь с возрастом [16]. Максимальная доза - в возрасте 6 лет. Относительный риск рака легких от воздействия продуктов распада радона у детей в возрасте до 10 лет выше, чем у взрослых. При облучении в возрасте до 20 лет закладывается примерно половина величины риска возникновения опухолей.

Проведенные к настоящему времени исследования указывают на возможность развития соматической патологии, вызванной влиянием радиационного фактора, в том числе патологии нервной системы. В связи с этим было проведено исследование заболеваемости населения обследованных населенных пунктов по официальной статистике и материалам периодических медицинских осмотров. Установлено, что наиболее частой патологией нервной системы у взрослого населения являются следующие нозологические формы: пояснично-крестцовая невралгия, шейный остеохондроз, радикулит, полиневрит, энцефалопатия, хронический средний отит, мезатимпанит, миопия. У подростков: шейный остеохондроз, энцефалопатия, хронический средний отит, миопия. Наиболее значимые различия получены для такой нозологической формы, как энцефалопатия, в 4 раза у девочек и в 8 раз у мальчиков. Потеря слуха встречается более чем в 10 раз чаще у представителей обоих полов. У детей наиболее частыми патологиями нервной системы были энцефалопатия, хронический средний отит, потеря слуха, миопия и косоглазие. Высокий

процент энцефалопатий связан с нарушением мозгового кровообращения, вызванным гипертонией. По мнению ряда авторов, радон вызывает повреждение сосудистой стенки, что может способствовать развитию гипертонии. [17-20].

По данным работы [21] были установлены особенности в нарушениях репродуктивной функции женщин, перинатальной заболеваемости, общей и онкологической заболеваемости, смертности. Ряд характерных особенностей имеет онкологическая заболеваемость населения. К ним можно отнести, во-первых, значительный подъем уровня заболеваемости за последние пять лет и, во-вторых, увеличение числа случаев злокачественных новообразований, что обусловлено раком легкого и новообразованиями кожи. Структура онкологической заболеваемости мужчин в 12 % случаев представлена раком легких (у женщин 6 %). [22].

Проведенный корреляционный анализ между содержанием радона в жилых помещениях и частотой встречаемости малых аномалий развития показал наличие значимых корреляционных связей ($p < 0,05$). Таким образом, даже концентрации радона, не превышающие гигиенического норматива, могут индуцировать развитие малых аномалий развития у детей.

Врачи подсчитали, что биологическое действие альфа-частиц на клеточные ткани тела в 20 раз более разрушительно, чем бета-частицы или гамма-излучение. По мнению исследователей, из США, попадание изотопов радона и продуктов его распада в легкие человека приводит к раку легких. Ученые считают, что вдыхаемый человеком радон вызывает локальные ожоги легочной ткани и занимает шестое место в списке смертельных причин рака. Исследователи отмечают, что воздействие радона на организм особенно опасно в сочетании с привычкой курить. Отмечено, что курение и радон - два наиболее значимых фактора возникновения рака легких, и когда они действуют вместе,

опасность резко возрастает. Недавно были опубликованы результаты наблюдений, и был сделан вывод, что из-за воздействия внутреннего альфа-излучения на организм человека в США ежегодно от рака легких умирают около 20 тысяч человек. Международное агентство по изучению рака классифицировало радон как канцероген класса 1 [41].

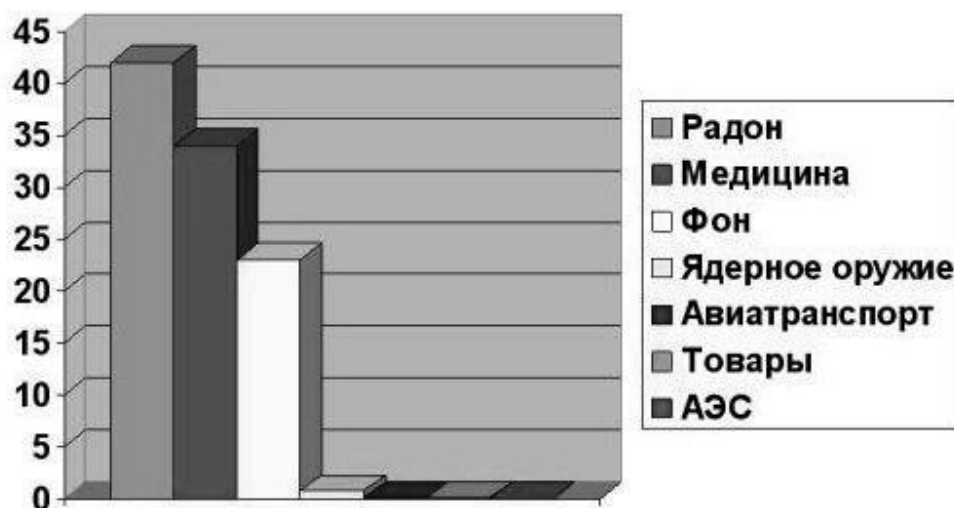


Рисунок 4 – Источники радиации, воздействующие на человека

Проведенные исследования [23] позволяют сделать заключение о том, что между повышенным уровнем радона в жилых помещениях, в том числе питьевой воде, и заболеваемостью людей имеется четко выявленная зависимость.

1.2.2. Польза радона

В лечебных целях применяют радоновые ванны при различных, преимущественно хронических, заболеваниях, а также орошение и ингаляции, терапевтический эффект которых связан с радиационным воздействием всосавшегося радона и продуктов его распада. Нижний предел концентрации радона для отнесения вод к радоновым – 185...370 Бк/л. В отечественной

бальнеотерапии по концентрации радона выделяют следующие разновидности радоновых вод:

- очень слаборадоновые (185...740 Бк/л),
- слаборадоновые (744...1480 Бк/л),
- радоновые средней концентрации (1481...2960 Бк/л),
- высокоррадоновые (2961...4440 Бк/л),
- очень высокоррадоновые (более 4450 Бк/л).

Радонотерапия - это вид лучевой терапии, при которой используются очень низкие дозы излучения. Основным действующим фактором является α -излучение радона и его короткоживущих дочерних продуктов. При лечении радоновыми ваннами в основном облучается кожа, при питье - органы пищеварения, при ингаляции - органы дыхания.

Радоновые ванны используются при лечении ряда заболеваний обмена веществ, заболеваний суставов и периферической нервной системы, сердечно-сосудистой системы, кожи, ревматизма, радикулита и др. Радоновые ванны являются эффективным средством лечения многих заболеваний: сердечно-сосудистой, кожной и нервной системы. Иногда радоновую воду назначают и внутрь - для воздействия на пищеварительную систему. Также эффективны радоновые грязи и вдыхание воздуха, обогащенного радоном.

Для радоновых ванн и гинекологических орошений применяют обычно радоновые воды концентрацией радона 1480...2960 Бк/л (концентрация естественных радоновых вод может быть и ниже) при температуре 34...37 °С. Продолжительность процедуры 5...20 мин. При лечении детей содержание радона в воде должно быть не выше 1,5 кБк/л. Доза радона на курс питьевого лечения – 37...111 кБк в сутки. В этом случае основная лучевая нагрузка приходится на группу внутренних органов и тканей (m^3 /курс): верхние отделы желудочно-кишечного тракта 13...16, жировые ткани 28, селезенка 12, почки

11, печень 4,4 и надпочечники 3,7. Весь организм в среднем получает 0,9 мЗв/курс.

Достаточное количество времени с помощью радоновых ванн во многих санаториях мира излечивают различные заболевания. [24].

Натуральные водные процедуры с благородным газом можно принять:

- в Крыму (центр «Черные воды»);
- в Алтайском крае (город Белокуриха);
- в Воронежской области (санаторий «Радон»);
- на Кавказских минеральных водах (Пятигорск, Кисловодск, Железноводск и т.д.);
- в Северной Осетии в Кармадонском ущелье;
- в Бурятии (Нилова Пустынь);
- на Южном Урале в Свердловской области «Липовка», в Челябинской области «Увильды».

Очевидно, зная о целебных свойствах радоновых ванн, люди не считали радон опасным для здоровья. Концентрация радона в ваннах ничтожна, а ионы, которые он образует в воде, благотворно действуют на организм. Радон лечит, но механизм исцеления не выяснен до сих пор. Однако, как известно, лекарство и яд различаются только дозой.

Таким образом, 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, рис. 5-8.

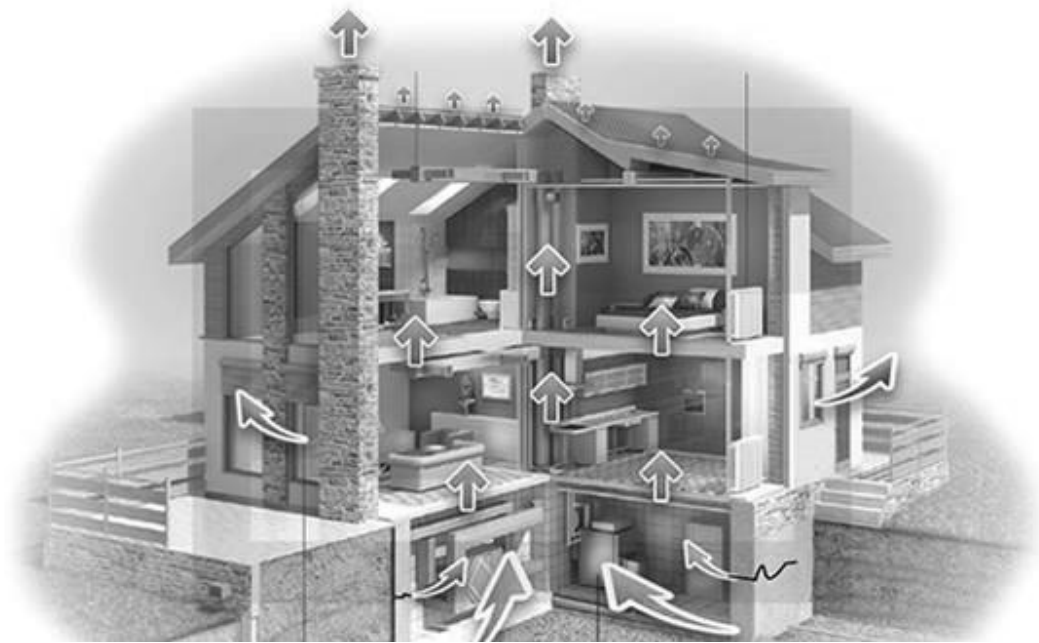


Рисунок 5 – Попадание радона в жилые помещения



Рисунок 6 – Попадание радона в жилые помещения



Рисунок 7 - Концентрация радона в разных комнатах



Рисунок 8 – Влияние проветривания на содержание радона в воздухе жилой комнаты

Такое вдыхание наносит наибольший вред здоровью человека, поскольку значительно увеличивает риск рака легких. Когда радон попадает в желудочно-кишечный тракт человека с питьевой водой, желудок, особенно его верхняя часть, и пищевод подвергаются риску.

Кроме того, радон растворяется в жировых тканях в десятки раз лучше, чем в воде, что способствует накоплению продуктов радиоактивного распада в организме человека. [7].

Таким образом, проведенный по доступным публикациям анализ, показал, что в незначительных дозах радон оказывает стимулирующее действие на организм, а в больших – угнетающее, поэтому для того, чтобы быть уверенным в радиационной безопасности потребляемой воды, необходимо предварительно проводить проверку ее соответствия установленным показателям.

Рекомендуемые методы для радиационного контроля питьевой воды представлены в табл. №3

Таблица – 3 Методы для радиационного контроля питьевой воды

Измеряемые характеристики	Рекомендуемые методы измерения	Средства измерения	Диапазон измерений, Бк/кг
Суммарная альфа- и бета-активность А (Сумма_альфа) и А (Сумма_бета)	Альфа-бета-радиометрический с предварительным концентрированием радионуклидов (выпаривание) по регламентированной методике, из объема пробы 0.5 - 1.0 л	Низкофоновые альфа-бета-радиометры на основе ППД, сцинтиляционных детекторов или проточных пропорциональных счетчиков	0.02 - 10(3) (Сумма_альфа) 0.20 - 10(3) (Сумма_бета)
Удельная активность (238)U, (234)U, (235)U, (232)Th, (230)Th, (228)Th, (239+240) Pu, (238) Pu, (241)Am	Альфа-спектрометрический с предварительным радиохимическим выделением радионуклидов из объема пробы 0.5 - 1 л и использованием изотопных индикаторов (232)U, (234)Th, (242)Pu, (236)Pu, (243)Am;	Альфа-спектрометры на основе ППД или ионизационных импульсных камер	5 x 10(3) - 10(3)
Удельная активность (226)Ra, (228)Ra,	Гамма-спектрометрический с	Гамма-спектрометры на	(0.05 - 0.1) - 10(3)

Измеряемые характеристики	Рекомендуемые методы измерения	Средства измерения	Диапазон измерений, Бк/кг
(224)Ra	предварительным количественным концентрированием изотопов радия из объема пробы 5 - 10 л, герметизацией концентрата и выдержкой для накопления равновесных дочерних продуктов распада, альфа- бета- радиометрических селективным радиохимическим выделением изотопов радия и измерением по регламентированной методике	основе ППД или сцинтилляционных детекторов, низкофоновые альфа- бетарадиометры	
Удельная активность (210)Po, (210)Pb	Альфа- бета- радиометрический или альфа- спектрометрический (210)Po, (210)Pb или (210)Bi из объема пробы 1 - 3 л	Низкофоновые альфа- бета- радиометры на основе ППД, сцинтилляционных детекторов или проточных пропорциональных счетчиков	0.02 - 10(3) (альфа) 0.05 - 10(3) (бета)
Удельная активность (137)Cs, (134)Cs	Гамма- спектрометрический инструментальный или бетарадиометрический с предварительным количественным концентрированием изотопов цезия из объема пробы 1 - 10 л	Гамма- спектрометры на основе ППД или сцинтилляционных детекторов, бета- радиометры	0.1 - 10(3)
Удельная активность (90)Sr	Бета- спектрометрический инструментальный или бетарадиометрический с предварительным	Бета- спектрометры низкофоновые бета- радиометры	0.1 - 10(3)

Измеряемые характеристики	Рекомендуемые методы измерения	Средства измерения	Диапазон измерений, Бк/кг
	селективным концентрированием $(90)\text{Sr}$ из объема пробы 1 - 5 л		
Удельная активность $(222)\text{Rn}$	Радиометрический	Радиометры радона	6 - 800

Согласно зарубежным публикациям, существует три различных подхода к измерению содержания радона в воде. В первом используется гамма-спектрометрия, во втором - эманометрия, а в третьем - жидкостный сцинтилляционный счет. Эти методы охватывают широкий спектр методов, от простых, дешевых, но понятных методов до более сложных и дорогих методов обнаружения. По этим причинам радоновый анализ доступен в гораздо большем количестве лабораторий, чем некоторые другие специфические для нуклидов методы. Для получения надежных и сопоставимых результатов рекомендуется использовать один из стандартных методов.

Стоит отметить, что ВОЗ не предлагает какого-либо предпочтительного подхода в своем руководстве по питьевой воде (ВОЗ, 2011).

E-DWD позволяет государствам-членам использовать различные стратегии проверки для выявления наличия радиоактивности в воде, предназначенной для потребления человеком, но эти методы должны быть надежными. E-DWD содержит минимальные требования относительно предела обнаружения и частоты отбора проб из источников питьевой воды. Выбранная методика измерения радона должна обеспечивать возможность измерения концентраций активности со следующим пределом обнаружения: Предел обнаружения радона составляет 10% от его параметрического значения 100 Бк / л, что составляет 10 Бк / л.

Сравнение различных систем обнаружения и подходов, используемых для определения радона в воде, показано в таблице 4 вместе с кратким изложением их основных характеристик. Эти данные основаны на литературных данных и стандарте ISO 13164 (ISO 13164-3, 2013, ISO 13164-4, 2015).

Таблица 4 - Обзор методов измерения водного радона

Система обнаружения	Подсчет эффективности	Достижимые низкий предел обнаружения (Бк/л*)	Типичная неопределенность измерения ($k = 1$)	Типичный объем пробы (л)	Обработка образцов	Срок выполнения (час)	Возможно измерение на месте
Гамма-спектрометрия	1,5%***	10	5–15%	0,1–2	Нет	4–13	Нет
Ионизационная камера		0,3	5–12%	0,05–0,2	Дегазация	≤1	да
LSC	280–300%**	0,05–1	≈ 10%	0,01–2	Зависит от состава	3–8	да
Сцинтилляционные клетки / клетки Люка	15–90%	0,3–1	<10%	0,05–1	Дегазация	1–3	да
Кремниевый детектор		0,04–0,4	5–12%	0,1–0,4	Дегазация	≤1	да
				1–2	Проницаемость	Несколько часов	да

*E-DWD Предел обнаружения: 10% от параметрического значения 100 Бк/л, 10 Бк/л.

**В том числе ^{222}Rn , ^{218}Po , ^{214}Po .

***Моделирование абсолютной эффективности для образца объемом 1 л при пике 609 кэВ.

Один из важнейших показателей эффективности метода - предел обнаружения. Все упомянутые здесь системы обнаружения соответствуют требованиям к пределу обнаружения, установленным в E-DWD. Все они могут измерять концентрацию радон активности до 10 Бк/л в расчете на нижний предел обнаружения в случае 100 Бк/л радона параметрической уровне. Типичная погрешность измерения обычно ниже 20% (коэффициент охвата, $k = 1$). Однако начальный объем образца варьируется в широком диапазоне от 10 мл

до нескольких литров в зависимости от используемого метода и требуемой подготовки образца. В целом, нет единого мнения о начальном объеме образца для большинства методов, лишь в нескольких исследованиях предпринимаются попытки оптимизировать исходный объем образца, например, для анализа LSC (Schubert et al., 2014). Для анализа на месте рекомендуется использовать почти все типы систем обнаружения, возможно, кроме гамма-спектрометрии. Есть портативные гамма-спектрометры, но в основном они оснащены твердотельными сцинтилляционными детекторами. В соответствии со стандартом ISO 13164 их можно использовать для скрининга, так как можно получить только полуколичественную информацию [25].

1.3 Радиоактивное загрязнение питьевой воды в мире и требования нормативных документов разных стран

В 1995 г. в РФ был принят Федеральный закон «О радиационной безопасности населения», и на сегодняшний день 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, ОСПОРБ-99, СП 2.6.1.1292-2003, а также в методических указаниях МУ 2.6.1.715-98. В табл.5, 6 приведены данные по радиационной безопасности воды в странах ЕС и США [26-32].

В мире содержание радона в воде колеблется от 100 пКи/л до 1000000 пКи/л. Такие территории обнаружены в Бразилии, Индии, Канаде, скандинавских странах. В Иране известны родники с высокими концентрациями радона. В США выявлены многочисленные зоны с концентрацией радона в подземных водах от 10 до 100 Бк/л, в отдельных районах - до сотен и даже тысяч Бк/л. В России выявлены зоны с концентрацией

радона в воде в 300-400 Бк/л [34-35]. Концентрации радона в различных источниках воды в Португалии и Финляндии находится в диапазоне от 0

Таблица 5 – Требования по радиационной безопасности воды

№ п/п	Показатели	СанПиН 2.1.4.1074-01	НРБ-99/2009 предварительная оценка	Директива ЕС 98/83	Рекомендации ВОЗ (2004 г.)	Стандарты США USEPA
1	Суммарная альфа-активность	0,2 Бк/л	0,2 Бк/л*	---	0,5 Бк/л*	15 пико-Кюри/л (0,555 Бк/л)
2	Суммарная бета-активность	1,0 Бк/л	1,0 Бк/л*	---	1 Бк/л*	***
3	Тритий		----	100 Бк/л	---	---
4	Приведенная эффективная доза		0,1 мЗв/год	0,1 мЗв/год**	---	4 мбэр/год*** (0,04 мЗв/год)
5	Радий-226 и Радий-228 суммарно		----	---	---	5 пико-Кюри/л (0,185 Бк/л)
6	Уран		----	---	---	30 мкг/л****

---- прочерк обозначает, что данный параметр отдельно не нормируется
 * при превышении этих значений проводится поэлементный радиохимический анализ так как данный показатель не является нормативом
 ** Согласно Директиве ЕС данный индикаторный параметр не включает тритий, калий-40, радон и продукты распада радона
 *** В нормативах США средняя ежегодная концентрация для бета частиц и радиоактивности фотона от искусственных радионуклидов в питьевой воде не должна создавать дозу более чем 4 мбэр/год.
 **** норматив USEPA радиоактивности по урану вступил в силу с 8 декабря 2003 г., согласно последним изменениям к национальному стандарту качества воды США в части радионуклидов (National Primary Drinking Water Regulations; Radionuclides; Final Rule)

Таблица 6 – Требования по радиационной безопасности воды – уран

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	СанПиН 2.1.4.1074-01	Директива ЕС 98/83	Рекомендации ВОЗ (2004 г.)	Стандарты США	Проект технического регламента	Класс опасности
35	Уран	мг/л	0,015	—	0,015	—	0,015	1

до 500 Бк / л. Примерно в 20% измеренных проб воды концентрация радона составляла от 500 до 1000 Бк / л и на 5% выше 1000 Бк / л. Средняя концентрация радона в финских скважинах составляет 460 Бк / л [36].

Исключительно высокие концентрации радона были обнаружены в питьевой воде, поступающей из ручных насосов в медном поясе Кхетри в Раджастане в январе 2020 г. Концентрация радона находится в диапазоне от

12,5 ± 1,5 до ± 38 862 Бк / л. Около 35% проб питьевой воды показали концентрации радона выше параметрического значения Европейского Союза 100 Бк/л [37].

Исследования, проводимые в южной провинции Хунань, в Китае в сентябре 2019 г показали превышение в 31,3% проб подземных вод. То есть они имеют более высокую концентрацию радона, чем максимальный уровень загрязнителя Бк / л, рекомендованное Агентство по охране окружающей среды США (USEPA). Относительно высокий уровень радона в подземных водах в данной провинции можно объяснить относительно высоким урановым фоном, создаваемым магматической активностью и магмато-гидротермальной системой [38].

Для защиты здоровья граждан от радона в питьевой воде в разных странах вводятся разные допустимые уровни содержания радона. Для вод, предназначенных для потребления человеком, E-DWD устанавливает параметрические значения, ВОЗ (ВОЗ, 2008) использует нормативный (рекомендательный) уровень, в то время как США вводит максимальные уровни загрязнения.

Ориентировочные уровни и параметрические значения не следует рассматривать как пороговые или ориентировочные значения, как объясняется в публикациях E-DWD и ВОЗ. Заинтересованная страна должна установить нормативные уровни и значения параметров в зависимости от того, представляет ли это значение риск для здоровья человека с точки зрения радиационной защиты или нет (то есть необходимы ли дальнейшие меры по очистке или нет).

Руководящие и параметрические уровни сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Международное руководство по радону и параметрические значения в питьевой воде

Директива / рекомендация	Концентрация активности (Бк/л)	Источник
Евратом DWD (E-DWD)	100–1000*	Еврат, 2013 г.
24 государства-члена ЕС **	100	MS Национальный закон
Ирландия, Португалия, Испания	500	MS Национальный закон
Финляндия	1000	MS Национальный закон
Уровень рекомендаций ВОЗ	100	ВОЗ, 2008 г
Максимальный уровень загрязнения US-EPA	~11,1	Агентство по охране окружающей среды США, 1999 г.
Альтернатива US-EPA: более высокий максимальный уровень загрязнения	148	

Примечание:

* > 1000 Бк L -1 корректирующие действия без дальнейшего рассмотрения оправдано во всех странах ЕС.

** Австрия, Бельгия, Болгария, Хорватия, Кипр, Чешская Республика, Дания, Эстония, Франция, Германия, Греция, Венгрия, Италия, Латвия, Литва, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Польша, Румыния, Словакия, Словения, Швеция, Великобритания.

Для вод, предназначенных для потребления человека в странах руководстве Европейского Союза и параметрических уровнях в соответствии с E-DWD то есть от 100 до 1000 Бк/л. Следует отметить, что минеральные воды

по-прежнему не подпадают под действие этой директивы, несмотря на их регулярное / предпочтительное потребление. В США для максимального уровня загрязнения указаны два разных уровня (US-EPA, 1999). Превышение наивысшего альтернативного максимального уровня загрязнения может привести к повышенному риску для здоровья от радона внутри помещений (то есть утечке радона из воды в воздух внутри помещений), поэтому воздействие следует уменьшить в соответствующих местах. Более высокий альтернативный максимальный уровень загрязнения может составлять примерно одну десятую (14,8 Бк/м³) от общего содержания радона в помещениях, что эквивалентно средней концентрации радона на открытом воздухе в США (Bartram, 2015). Всемирная организация здравоохранения определила уровень до 100 Бк/л в третьем издании ВОЗ руководящих принципов питьевой воды (ВОЗ, 2008). Однако в текущей публикации руководящих принципов по питьевой воде рекомендательный уровень радона отсутствует, и никакой другой конкретный рекомендательный уровень не приводится (ВОЗ, 2011 г.). Выборка международных руководств по радону и параметрических значений для питьевой воды представлена в таблице 8 [25].

Необходимо отметить, что содержание радона в воде заметно отличается в различных странах, регионах. Анализ представлен в табл. 8.

Концентрации активности радона сильно различаются не только для разных типов воды, но даже в пределах одного и того же типа. В основном это можно объяснить их происхождением, литологией вмещающих пород водоносного горизонта и различными процессами на пути к потребителю.

Таблица 8 – Примеры диапазонов концентрации радона в разных источниках воды.

Тип воды	Rn ²²² концентрация активности (Бк/л)	Страна, регион	Геология	Использованная литература
Питьевая вода	<3	Сербия / Нови-Сад	-	<u>Todorovic et al., 2012</u>
	0,3–24	Кипр и Греция (Аттика-Крит)	-	<u>Nikolopoulos and Louizi, 2008</u>
	1,46–644	Австрия	гранитная скала	<u>Wallner and Steininger, 2007</u>
	<1,3–1800	Германия	-	<u>Beyermann et al., 2010</u>
	1,9–112,77	Португалия	-	<u>Lopes et al., 2005</u>
	0,19–71,1	Великобритания	-	<u>Henshaw et al., 1993</u>
Поверхностные воды	<1	Словения	-	<u>ISO 13164-3, 2013</u>
	5,4		-	<u>Kobal et al., 1990</u>
Грунтовые воды	1–1000	Испания, регион Ла Гарроча	-	<u>ISO 13164-3, 2013</u>
	0,2–26		вулканические	<u>Moreno et al., 2014</u>
	3043	Польша, Судеты	Вулканические (например, кристаллические породы)	<u>Przylibski et al., 2014</u>
	3800	Финляндия	Почва	<u>Salonen, 1988</u>

Тип воды	Rn ²²² концентрация активности (Бк/л)	Страна, регион	Геология	Использованная литература
			подробностей)	
	1220	Германия, Восточная Бавария	гранит, гнейс	<u>Trautmannsheimer et al., 2002</u>
	17–3856	Португалия, Ниса	Граниты, отложения	<u>Pereira et al., 2015</u>
	5,8–36,6	Великобритания, Северная Ирландия	Водоносный горизонт Шервудского песчаника	<u>Gibbons and Kalin, 1997</u>
Минеральные воды родниковые и не бутилированные	1,4–105	Испания, Южная Каталония,	вулканические (гранит) и осадочные породы (например, известняк, песчаник)	<u>Fonollosa et al., 2016</u>
	2,11–120	Венгрия, Балатонское нагорье, Южная Задунайская область и Великая южная равнина	Осадочные породы	<u>Somlai et al., 2007</u>

Тип воды	Rn ²²² концентрация активности (Бк/л)	Страна, регион	Геология	Использованная литература
	Минеральная вода 0,91– 1463	Сербия	различные	<u>Todorovic et al., 2012</u>
	1595	Болгария	-	<u>Pressyanov et al., 2007</u>
	1,4–43,7	Литва	кристаллические и осадочные породы	<u>Ladygiene et al., 1999</u>
	1,5–181	Италия, Падуя, Эуганские термальные источники	вулканические породы	<u>Cantaluppi et al., 2014</u>
	1029	Испания, Галисия	гранитные и сланцевые породы	<u>Llerena et al., 2013</u>
Вода из колодца	10–300	Норвегия	-	<u>ISO 13164-3, 2013</u>
	32000		-	<u>Strand et al., 1998</u>
	4–63560	Швеция, Графство Стокгольм	различные кристаллические породы	<u>Skeppström and Olofsson, 2006</u>
	47–1600	Бельгия	-	<u>Bourgoignie et al., 1982</u>

Тип воды	Rn ²²² концентрация активности (Бк/л)	Страна, регион	Геология	Использованная литература
	77000	Финляндия	преимущественно гранитная порода	<u>Salonen, 1988</u>

(например, дегазация, разбавление, разложение). Если у питьевой воды более короткий путь и время между источником воды и потребителем, снижение концентрации активности радона меньше.

Уровни концентрации радона в подземных водах в некоторых странах представлены в табл. 9, на рис. 9 [39].

Таблица 9 – Распределение радона в подземных водах некоторых регионов

Регион	Бк/м ³
Ханкок (США)	1 400
Сев. Каролина (США)	100
Хельсинки (Финляндия)	1 200
Зальцбург (Австрия)	1,5

По оценкам Научного комитета по действию атомной радиации, действующим при Организации Объединённых Наций, в настоящее время 10% населения Земли пьют воду с содержанием активности по радону 0,1 МБк/м³ и 1% жителей – 1 МБк/м³.

В связи с разнообразием условий накопления радона в водах разных стран приняты различные величины предельно допустимых концентраций радона, которые ограничивают использование вод с высоким содержанием радона. Так, в Финляндии предельно допустимые концентрации установлены на уровне 300

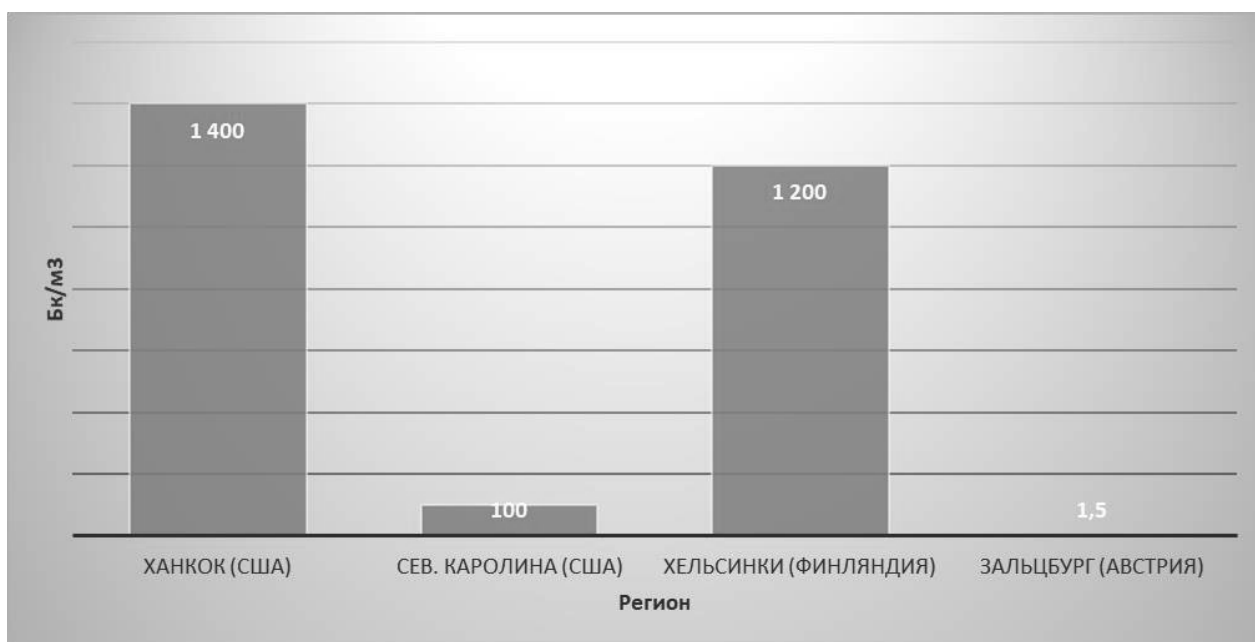


Рисунок 9 – Распределение радона в подземных водах некоторых регионов Бк/л, в Швеции – 300 Бк/л, в Ирландии – 200 Бк/л [40]. Рекомендованная агентством по охране окружающей среды США (US EPA) предельная величина содержания радона в воде составляет 300 пКи/л (11,1 Бк/л), что, однако, не нашло пока отражения в американском национальном стандарте качества воды (этот параметр не нормируется). В российских Нормах Радиационной Безопасности предельный уровень содержания радона в воде, при котором уже требуется вмешательство, установлен на уровне 60 Бк/л при отсутствии в воде других радиоактивных веществ, на Украине – 100 Бк/л. В табл. 10 приведены текущие нормы содержания радионуклидов в питьевой воде по версии ЕРА.

Из 160 000 централизованных систем водоснабжения, обслуживающих США, примерно 700 из них обрабатывают воду с повышенным уровнем радионуклеидов. Национальное обследование неорганических веществ и радионуклидов (NIRS), проведенное ЕРА, выявило большое количество очистных сооружений на Среднем Западе и юго-востоке США,

Таблица 10 – Нормы содержания радионуклидов в питьевой воде по версии ЕРА

Радионуклид	Максимальный уровень загрязняющих веществ (МКЛ), разрешенный ЕРА
комбинированный Радий 226/228	5 пКи/л
уран	30 мкг/л
бета-излучатели	4 мрем
брутто Альфа стандарт	15 пКи/л
радон	300 пКи/л (предлагаемый стандарт)

обрабатывающих воду с концентрациями радия, превышающими максимальные уровни загрязнения ЕРА (MCLs). Концентрация и распределение радионуклидов в питьевой воде варьируются от одного района к другому в зависимости от переменных местоположения:

- геологическое местоположение
- рН подземных вод
- окислительно-восстановительный потенциал
- растворимость и период полураспада радионуклидов
- нормы водозабора
- количество образующегося осадка на единицу объема обрабатываемой воды.

Уровни радия обычно находятся в более высоких концентрациях в подземных водах, чем в поверхностных водах. Концентрации в подземных водах обычно колеблются от 0,5...25 пКи/л по сравнению с 0,01...1 пКи/л / л

для поверхностных вод. Сообщалось о концентрациях радия, достигающих 200 пКи/л, хотя это редкость; уровни редко наблюдаются выше 50 пКи/л.

Средняя концентрация радия – 226 в централизованных источниках питьевой воды оценивается в диапазоне от 0,3 до 0,8 пКи/л. Результаты Национального обследования неорганических веществ и радионуклидов (NIRS), проведенного Управлением по питьевой воде ЕРА США, свидетельствуют о более высоком средневзвешенном значении 0,905 пКи/л. В пяти штатах – Джорджии, Иллинойсе, Миннесоте, Миссури и Висконсине – были отмечены еще более высокие средние концентрации, колеблющиеся от 1,27 до 5,29 пКи/л.

Активность урана, достигающая 652 пКи/л, была отмечена как в поверхностных, так и в подземных пробах. Считается, что средние концентрации урана в поверхностных и подземных водах составляют около 1 и 3 пКи/л соответственно. По оценкам, средневзвешенная концентрация урана в источниках питьевой воды для населения колеблется от 0,3 до 2,0 пКи/л.

Известно, что присутствие радона в подземных водах значительно различается, причем его концентрация более чем на шесть порядков отличается от концентрации радия – 226. Среднее геометрическое значение концентрации радона в подземных водах составляет почти 1000 пКи/л [3].

География распространения радона по территории планеты неравномерна, это отражено на рис. 10-19.

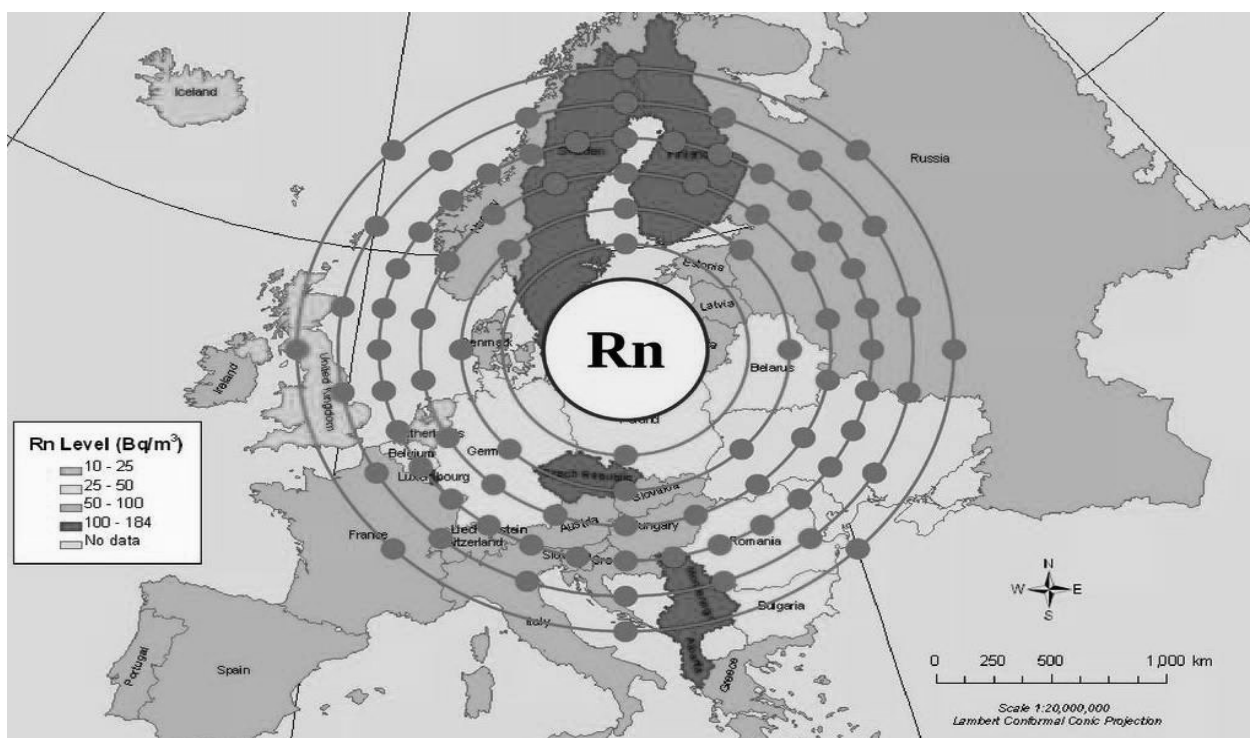


Рисунок 10 – География распространения радона в мире

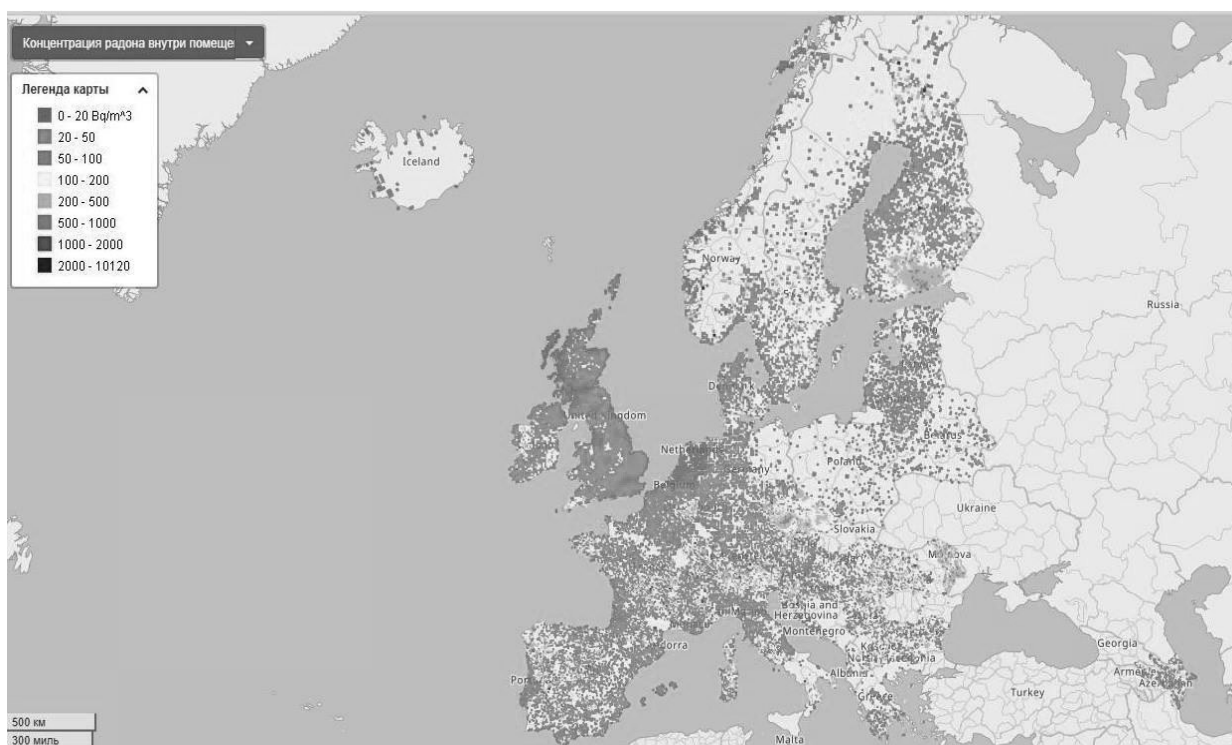


Рисунок 11 – География распространения радона в Европе на 07.02.2020

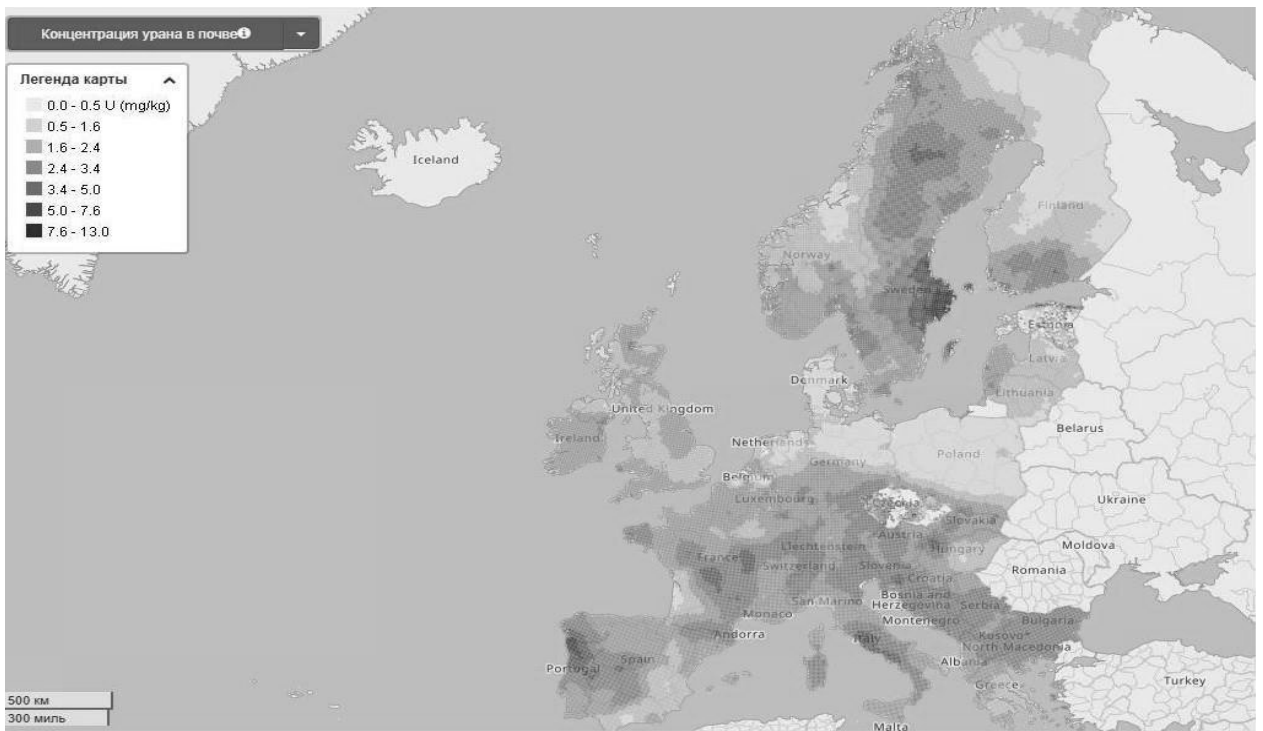


Рисунок 12 – Концентрация урана в почве на 07.02.2020

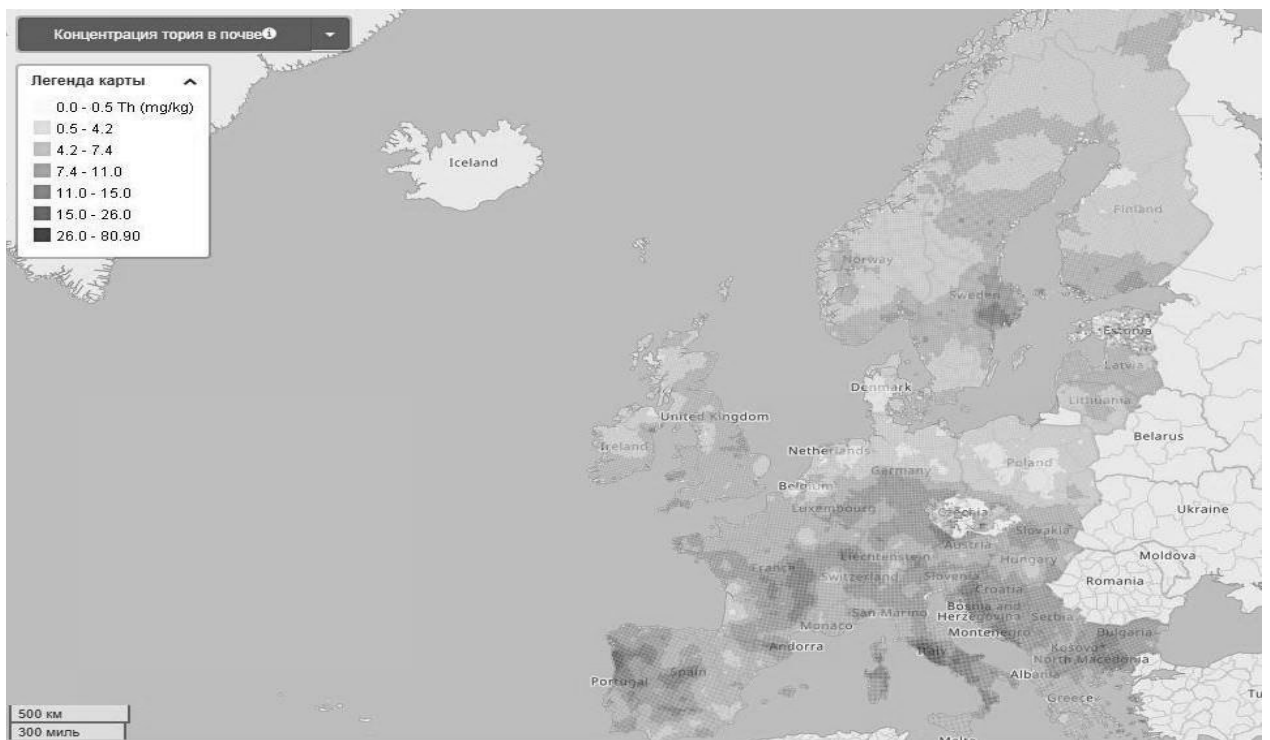


Рисунок 13 – Концентрация тория в почве на 07.02.2020



Рисунок 14 – Концентрация калия в почве на 07.02.2020

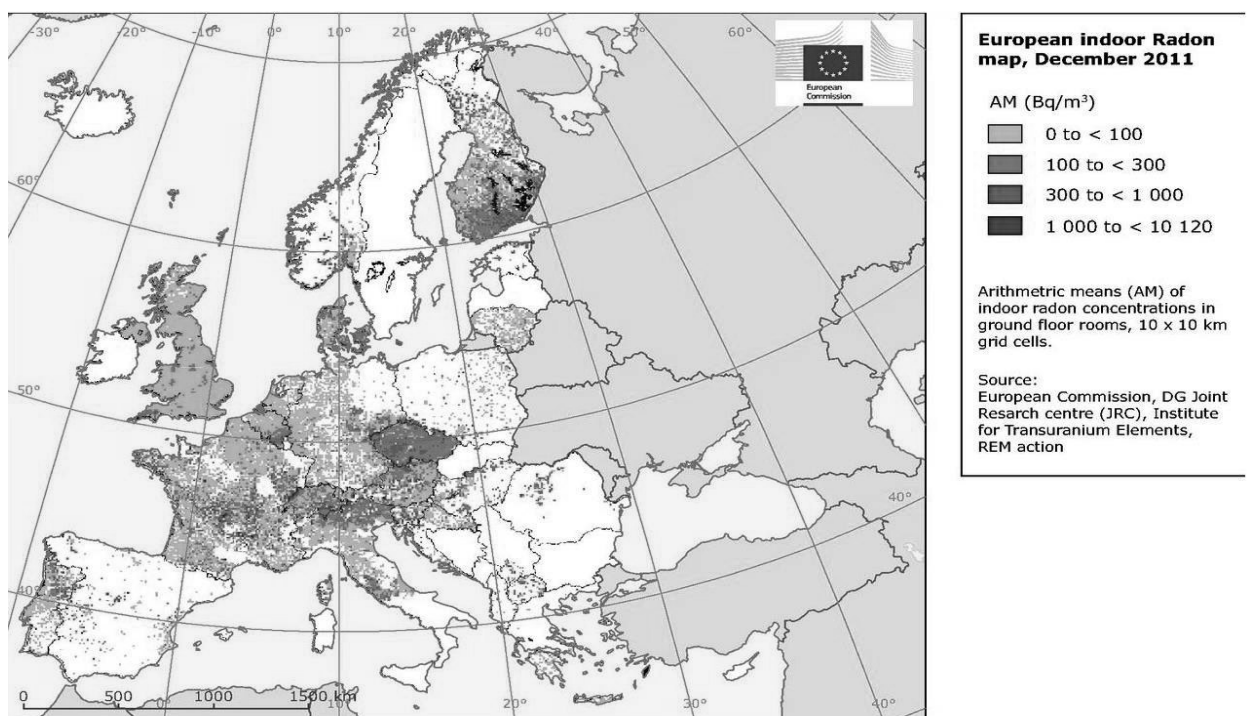


Рисунок 15 – География распространения радона в Европе

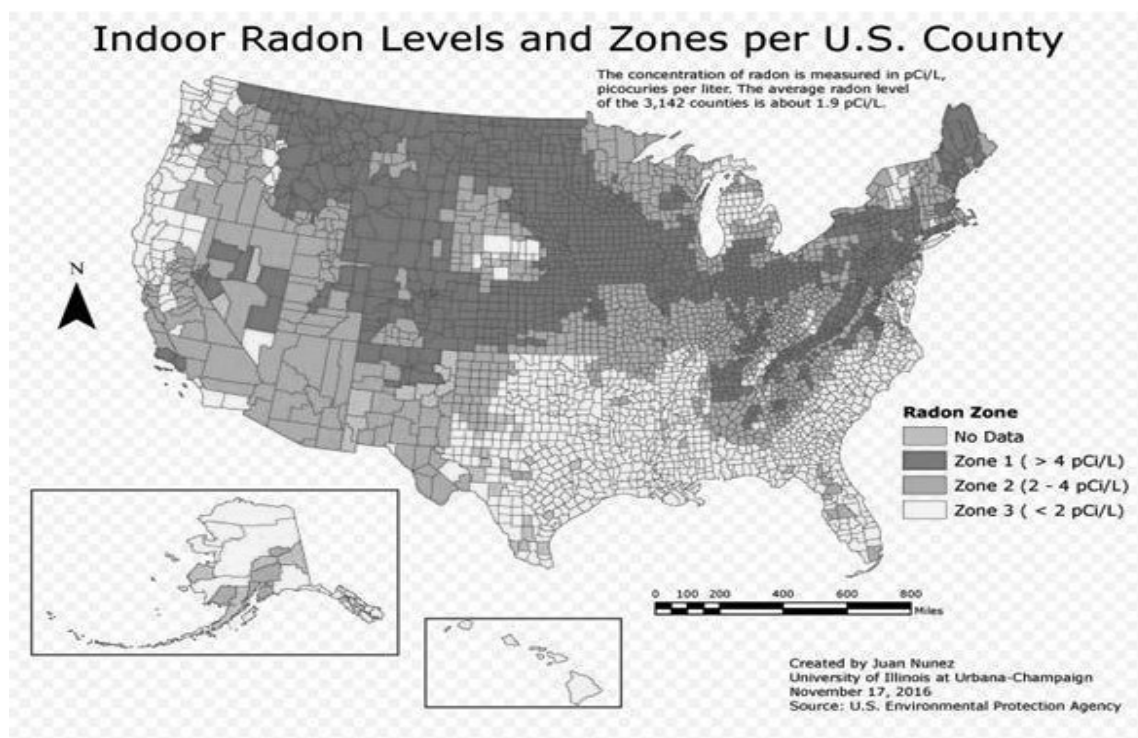


Рисунок 16 – География распространения радона в США



Рисунок 17 – География распространения радона на территории Канады

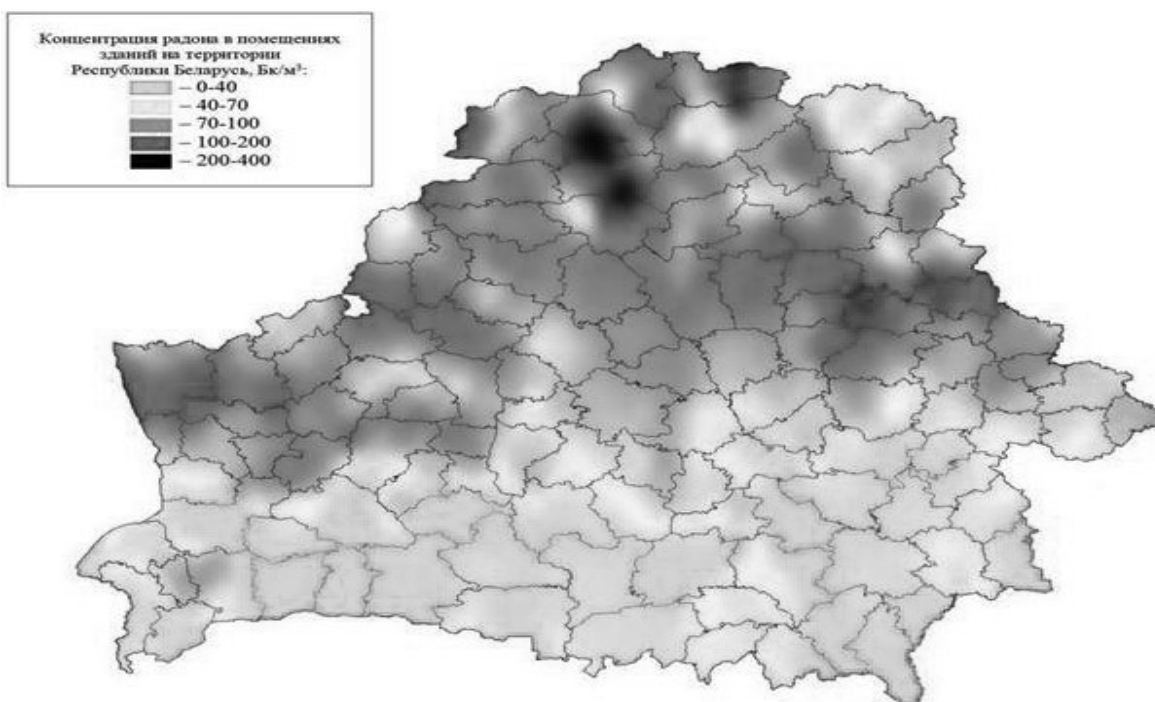


Рисунок 18 – География распространения радона на территории Белоруссии



Рисунок 19 – География распространения радона на территории РФ

По материалам Федеральной службы России по надзору в сфере защиты прав потребителей, концентрация изотопов радона в жилых помещениях фиксировалась: в Республике Тыва, в Алтайском крае, в Воронежской и Кемеровской областях, в республиках Бурятия, Ингушетия, Калмыкия, Северная Осетия, Тыва, в Кабардино-Балкарской и Карачаево-Черкесской республике, на Ставропольском крае, в Ивановской, Иркутской, Калужской, Кемеровской, Липецкой, Новосибирской, Ростовской и Свердловской областях.

Радоноопасными территориями признаны: Ленинградская область, Карелия, Мурманская область, Вологодская, Архангельская, Уфимская, Курганская, Свердловская и Оренбургская области. Потенциально радоноопасными считаются: республики Коми, Самарская, Ульяновская, Саратовская, Пензенская, Тамбовская, Рязанская, Липецкая, Курская, Белгородская, Орловская, Тульская, Брянская, Калужская, Смоленская, Тверская, Новгородская, Псковская, Ростовская области. То есть по сути – радон есть везде.

По данным Роспотребнадзора, средняя по Российской Федерации суммарная доза облучения населения за счет всех природных источников излучения составляет 3,35 мЗв/год, при этом на ингаляцию изотопов радона и их короткоживущих дочерних продуктов распада в воздухе помещений приходится в среднем около 59,5% от этой цифры.

«Повышенные средние дозы облучения (от 5,0 до 10,0 мЗв/год) природными источниками ионизирующего облучения характерны для жителей Республики Тыва, Ставропольского и Забайкальского краев, Еврейской автономной области и Иркутской области», — отмечается в сообщении Роспотребнадзора.

В 10 субъектах Российской Федерации (республики Тыва, Хакасия, Саха (Якутия) и Чувашская; Амурская, Белгородская, Ивановская, Кемеровская,

Мурманская, Тамбовская области) отмечено превышение гигиенического норматива среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона для строящихся жилых и общественных зданий (более 100 Бк/м³).

В 20 субъектах Российской Федерации (республики Алтай, Башкортостан, Тыва и Саха (Якутия), Амурская, Белгородская, Ивановская, Иркутская, Кировская, Кемеровская, Ленинградская, Магаданская, Новгородская, Свердловская, Тульская, Оренбургская области; Ставропольский и Забайкальский края; Еврейская автономная область, г. Москва) зарегистрированы превышения гигиенического норматива по среднегодовой ЭРОА радона в помещениях эксплуатируемых жилых и общественных зданий (более 200 Бк/м³).

В настоящее время в Российской Федерации функционирует двухуровневая система радиационного контроля воды. На первом этапе проводится оперативная предварительная оценка качества питьевой воды по показателям: удельная суммарная альфа- и удельная суммарная бета-активность. При значениях альфа- и бета-активности ниже 0,2 и 1,0 Бк/кг соответственно дальнейшие исследования воды не являются обязательными. В случае превышения указанных уровней проводятся количественные определения удельных активностей природных радионуклидов: полония-210, свинца-210, радия-226, радия-228, урана-238, урана-234 с целью определения, нужны ли мероприятия по снижению радиоактивности питьевой воды. Наряду с перечисленными показателями, питьевую воду из подземных источников исследуют на определение удельной активности радона-222 [42]. Рекомендации по определению содержания радионуклидов в питьевой воде приведены на рисунке 20.



Рисунок 20 – Рекомендации по определению содержания радионуклидов в питьевой воде в соответствии с СанПиН, НРБ99, ВОЗ [26,14]

2 Анализ методов удаления радиоактивных загрязнителей из воды

2.1 Обзор используемых методов

В настоящее время существует достаточно большое количество методов для удаления различных радиоактивных загрязнителей из воды хозяйственно питьевого назначения. Рассмотрим более подробно методы, предлагаемые ЕРА (2006), для удаления радиоактивных загрязнений табл.11-16 [43].

Таблица 11 – Методы и эффективность удаления радона [43]

Методы удаления	Эффективность, %
Аэрация (пример тех. приведено ниже)	70-99
Диффузионная аэрация в насадочной колонне	90-99
Пневматическая аэрация (диффузия барботажем)	70-99
Безнапорная аэрация в лотках	80-90
Аэрация разбрызгиванием	80-90
Гранулированный активированный уголь (для очень малых систем)	80-99
• Потенциальная проблема радиационного облучения	
• Потенциальные проблемы с удалением отходов	

Для удаления радия эффективны методы, представленные в табл. 12 [43]

Таблица 12 – Методы и эффективность удаления радия [43]

Методы удаления	Эффективность, %
Коагуляция/фильтрация	65-95
Известкование	80-95
Мембранные технологии	90-99
Ионный обмен	>97

Таблица 13 – Методы и эффективность удаления урана [43]

Методы удаления	Эффективность, %
Коагуляция/Фильтрация	80-95
Известкование	85-99
Ионный обмен	90-99
Фильтрование через активированный оксид алюминия	90-99
Мембранные технологии	90-99

Таблица 14 – Методы для удаления альфа и бета-частиц [43]

Радионуклид	Методы удаления
Альфа – частицы	Обратный осмос
Бета-частицы	Ионный обмен , обратный осмос

Таблица 15 – Сводная таблица по основным методам удаления радиоактивных загрязнений [43]

Радионуклид	Методы удаления
Радон-222	Аэрация, сорбция, мембранная фильтрация
Радий-226	Ионный обмен, известкование, обратный осмос
Радий-228	
Альфа-частица (без учета Радона и Урана)	Обратный осмос
Уран	Ионный обмен, известкование, обратный осмос, коагуляция
Бета-частица и фотон	Ионный обмен, обратный осмос

Сравнительный анализ методов удаления представлен в табл.16.

В РФ способы и методы снижения уровней природных радионуклидов в питьевой воде описаны в МУ [30]. Приоритетными способами удаления радионуклидов из воды являются:

- для урана - ионный обмен, мембранные методы (нанофильтрационные и обратноосмотические);
- для радия - ионный обмен, мембранные методы (нанофильтрационные и обратноосмотические);

Таблица 16 – Сравнительный анализ методов удаления радиоактивных загрязнений [43]

Технология обработки	Загрязнитель					Исходная вода
	Радон	Радий (Ra)	Уран (U)	Альфа-частицы (G)	Бета-частица и фотон (B)	
Ионный обмен	√	√	√		√	Все подземные воды
Обратный осмос	√	√	√	√	√	Поверхностные воды, обычно требующие предварительной фильтрации
Известкование		√	√			Все воды
Фильтрация на Green Sand		√				Обычные подземные воды
Совместное осаждение с сульфатом бария		√				Подземные воды с подходящим качеством воды
Электродиализ		√				Все подземные воды
Фильтрация на оксиде марганца		√				Все подземные воды
Коагуляция/Фильтрация			√			Широкий диапазон качества воды

- для свинца и полония - ионный обмен, мембранные методы (нанофильтрационные и обратноосмотические), угольная фильтрация.

Эффективность существующего оборудования для обеззараживания воды варьируется в диапазоне по радону от 0 до 90%, по изотопам урана, радия, свинца и полония от 0 до 100%, в зависимости от используемого метода.

Из них наиболее простыми и обычно наиболее экономичными являются методы осаждения, широко применяемые в практике водоподготовки. Радионуклиды можно удалить прямым осаждением, соосаждением или адсорбцией на образовавшемся осадке.

1. Осаждение. При изменении рН (нейтрализация: кислая - известью, щелочная - кислотами) концентрации большинства растворенных примесей уменьшаются в сотни и тысячи раз.

2. Коагуляция. Вещества, находящиеся в воде в коллоидном состоянии (гидрозоли) под действием коагулянта образуют хлопья и выпадают в осадок (гидрогели), механически увлекая крупную взвесь. При этом образовавшиеся хлопья коагулянта адсорбируются на своей поверхности и уносят на дно коллоидные и мелкодисперсные частицы, т.е. обеспечивают удаление примесей путем их адсорбции и соосаждения. Наиболее эффективные процессы коагуляции в щелочной среде. В качестве коагулянтов используются алюминий, гидроксид железа, фосфаты с известью, дубильная кислота или танин с известью.

Поскольку разные радионуклиды находятся в разных формах, эффективность их удаления этим методом далеко не однозначна. Например, когда в качестве коагулянта используется гидроокись алюминия или железа, все катионы, за исключением щелочных и щелочноземельных металлов, могут быть эффективно удалены, в то время как анионы удаляются только в небольшой степени.

На практике коагуляция и отстаивание используются в сочетании с фильтрацией через песчаные фильтры, которые используются исключительно для механического задержания взвешенных частиц, не успевших осесть в отстойниках. Малая сорбционная способность этих устройств исключает возможность их использования в качестве самостоятельных очистных агрегатов.

Эффективность очистки с применением метода коагуляции и отстаивания для разных растворов составляет от 0% до 90%. Рассмотренные методы можно

использовать для обработки относительно больших объемов воды с низким уровнем радиоактивности, который необходимо снизить примерно вдвое.

Преимуществом осадительных методов очистки воды, помимо экономичности, является их универсальность, т.е. способность нейтрализовать воду, содержащую самые разные примеси (механические, химические) и различный радионуклидный состав. Недостатком этих методов является образование значительного количества активного ила (в основном в виде отложений), требующего дополнительной обработки, последующего удаления и утилизации (захоронения).

3. Электродиализ и электрокоагуляция. Метод электродиализа основан на удалении ионов растворенных веществ из раствора путем их избирательного переноса через мембраны, селективные к этим ионам в поле постоянного электрического тока. Эффективность метода достаточно высока: коэффициент очистки от радиоактивных веществ по альфа-излучателям (плутоний, полоний) составляет 100%, по бета - 99,8 - 100%. Содержание соли снижается с 10-2 до 10-5%. Относительная простота и высокая эффективность делают его перспективным для практического использования. Однако его широкое внедрение в практику по-прежнему сталкивается с трудностями технико-экономического характера.

Электрокоагуляция - еще один перспективный метод безреагентной очистки. Принцип этого метода основан на свойствах металлического (алюминиевого) анода под действием постоянного тока переходить в очищаемую воду, образуя в ней хлопья гидроокиси алюминия, которые адсорбируют примеси в воде на поверхности и осаждают их на дно. Его большим преимуществом является небольшое количество образующегося осадка.

4. Ионный обмен. Этот метод основан на способности определенных материалов (ионитов) за счет ионного обмена извлекать из растворов катионы, анионы (или оба одновременно) как стабильных, так и радиоактивных нуклидов. Цикл очистки воды с помощью ионитов состоит из последовательных операций фильтрации и регенерации.

В настоящее время в качестве ионитов используются органические и неорганические соединения. Наиболее распространенными органическими смолами являются синтетические смолы (катиониты и аниониты) различных марок, сульфуголь, цеолиты и др.

Основные технологические требования к ионитам следующие: хорошая рабочая ионообменная способность, высокая скорость ионного обмена, простота регенерации с использованием небольшого объема промывочной жидкости, ограниченное набухание и низкое гидравлическое сопротивление при рабочей скорости фильтрации, устойчивость к механическим (истирание), химическим (кислоты, щелочи, окислители) и температурным воздействиям. Иониты не должны окрашивать воду, придавать воде запах, вкус, мутность, изменять рН выше 6,5-8,5, выделять в воду вредные для здоровья вещества и увеличивать содержание микроорганизмов в очищаемой воде.

При проектировании ионообменных установок учитывают все эти факторы, и в необходимых случаях экспериментально определяют оптимальные технологии сорбции-десорбции.

Высокая эффективность ионного метода, полная возможность его использования для любого объема воды делают его одним из наиболее перспективных для очистки воды от радионуклидов.

Сильноосновные аниониты в виде хлоридов удаляют более 95% урана независимо от качества исходной воды. Эффективность удаления радия в

системах, содержащих сильнокислые катиониты в виде натрия, составляет 90 - 95%.

Эффективность удаления свинца и полония изменяется в широком диапазоне (35 - 100%). Механизм удаления этих нуклидов - только частично ионный обмен. Большая часть этих нуклидов в природных водах находится в виде коллоидных частиц и их уменьшение связывают с адсорбцией на ионообменных смолах.

Вместе с тем все системы на основе ионного обмена имеют и ряд общих недостатков:

- Процессы ионного обмена неспецифичны для радиоактивных веществ и, наряду с радиоактивными, стабильные нуклиды задерживаются на ионообменных материалах. Это обстоятельство существенно влияет на эффективность очистки, которая во многом зависит от наличия в водах стабильных форм химических элементов, от нуклидов которых надо освободиться.

- На эффективность функционирования ионообменных фильтров, независимо от их конструкции (колонки, пластины), могут существенно влиять различные примеси, содержащиеся в воде (взвешенные вещества, мыло, масла и др.). Эти примеси, заполняя поры фильтров или покрывающие поверхность ионообменного материала, существенно мешают процессу фильтрации и ионного обмена. Наличие в воде природных органических веществ (в том числе органического железа) также может ухудшать фильтрационные и ионообменные свойства ионитов, «зарастание» смолы органической пленкой, которая одновременно служит питательной средой для бактерий. Оба эти фактора требуют более частой регенерации, что приводит к увеличению потребления соли.

- В процессе работы ионообменные фильтры накапливают радиоактивные вещества. В результате содержание природных радионуклидов в отработанных свой ресурс патронах может достигать 10 Бк/г. При регенерации радионуклиды, зафиксированные ионообменным фильтром, переходят в растворы, активность которых превышает активность неочищенных вод в 10 - 30 раз. Образование отходов с высоким содержанием естественных радионуклидов может ограничить применимость этой технологии в частных домах.

- Необходимо отметить также, при ионировании воды на анионообменных смолах одновременно с извлечением радионуклидов уменьшается мутность воды, удаляются фосфаты, сульфаты, нитраты. При фильтровании воды через катионообменные смолы сокращается содержание железа и марганца, кальция, магния, сульфатов, хлоридов. Более или менее полное удаление общей жесткости отрицательно оценивается с точки зрения влияния на здоровье и приводит к увеличению коррозионной активности воды. Это можно избежать, используя вместо смол в натриевых формах смолы в форме кальция.

Тем не менее, именно использование ионообменных смол представляется весьма перспективным направлением в борьбе с радионуклидами в воде. Задача состоит в том, чтобы выбрать комбинацию ионообменных смол (иногда очень сложных и многокомпонентных), которая была бы эффективной в довольно широком диапазоне параметров качества воды.

Проведенный анализ существующих на сегодняшний день способов удаления из воды радионуклидов показал, что наиболее эффективными являются: аэрация, ионный обмен, сорбция и обратный осмос.

К числу наиболее часто применяемых методов относятся:

- сорбция – очистка воды от радона с использованием сорбционных материалов, чаще всего активированного угля, цеолитов.

Использование в качестве сорбента активированного угля позволяет удалить из воды 95...99 % инертного газа. Угольный сорбент хорошо улавливает и прочие радионуклиды: радий-226 и уран-235. Для большей эффективности перед угольным фильтром иногда ставят ионообменный фильтр.

Группой специалистов ФГАОУ ВО «Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбурга в 2017 г, были проведены эксперименты по выбору марки активированного угля [44]. В экспериментах были использованы четыре вида активированных углей:

- активированный кокосовый уголь производства Carbotech (Германия) после отмывки от неорганических солей;
- активированный кокосовый уголь производства Carbotech (Германия), импрегнированный ионами серебра;
- активированный кокосовый уголь производства NWC (Малайзия);
- березовый активированный уголь (БАУ) производства России.

Была исследована сорбционная способность всех углей при скорости пропускания 100 мл/мин. Результаты эксперимента представлены в табл.17.

Таблица – 17 – Зависимость степени сорбции радона от марки угля

Марка угля	S, мл/мин
БАУ	0,78
NWC	0,77
Carbotech	0,91
Carbotech, импрегнированный Ag	0,92

Лучшим сорбентом является активированный кокосовый уголь производства Carbotech (Германия), причем наличие серебра на угле не

оказывает какого-либо значимого влияния на степень сорбции. Необходимо также отметить, что на эффективность влияет и скорость пропускания воды через фильтр, то есть увеличение скорости пропускания негативно сказывается на степени сорбции, т. к. уменьшается время взаимодействия воды с сорбентом (рис. 21).

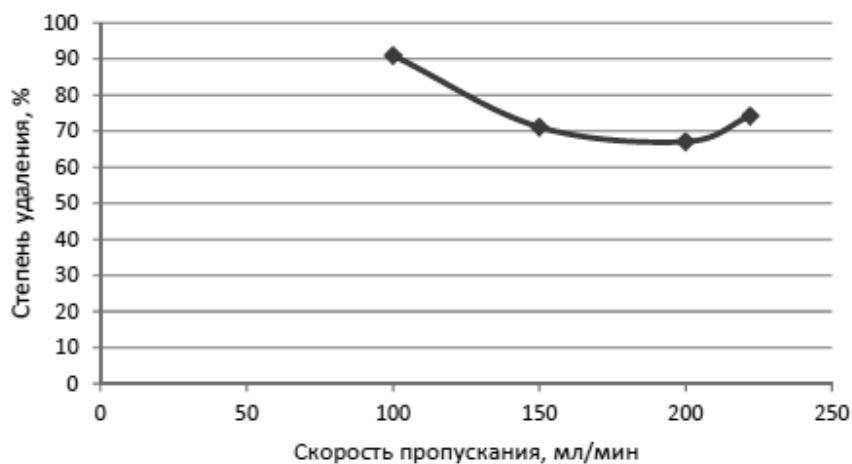


Рисунок - 21 Зависимость степени удаления радона от скорости пропускания воды

В целом, можно сделать вывод, что при использовании активированного угля Carbotech метод абсорбции радона показывает высокую эффективность, сопоставимую с эффективностью нагревания.

Кроме вышеперечисленных марок активированного угля проводились исследования применения активированного угля, синтезированного из биомассы (шишки), для снижения риска радона в помещениях. Характеристики полученного угля оценивали с использованием анализатора площади поверхности FESEM, TGA и BET и общего объема пор. Было обнаружено, что площадь поверхности полученного угля по BET составляет $839 \text{ м}^2 \text{ г}^{-1}$, а общий объем пор составляет $0,476 \text{ см}^3 \text{ г}^{-1}$. Метод адсорбции с неподвижным слоем использовался для оценки эффективности адсорбента путем изменения параметров процесса, таких как длина слоя, диаметр слоя и скорость потока.

Исследования регенерации проводились при различных температурах в течение 50 минут, которые показали, что нагревание при 70–90 °С приводит к полной дегазации адсорбированного радона – 222 с калием, эквивалентным таковому у чистого углерода рис. 22 [45].

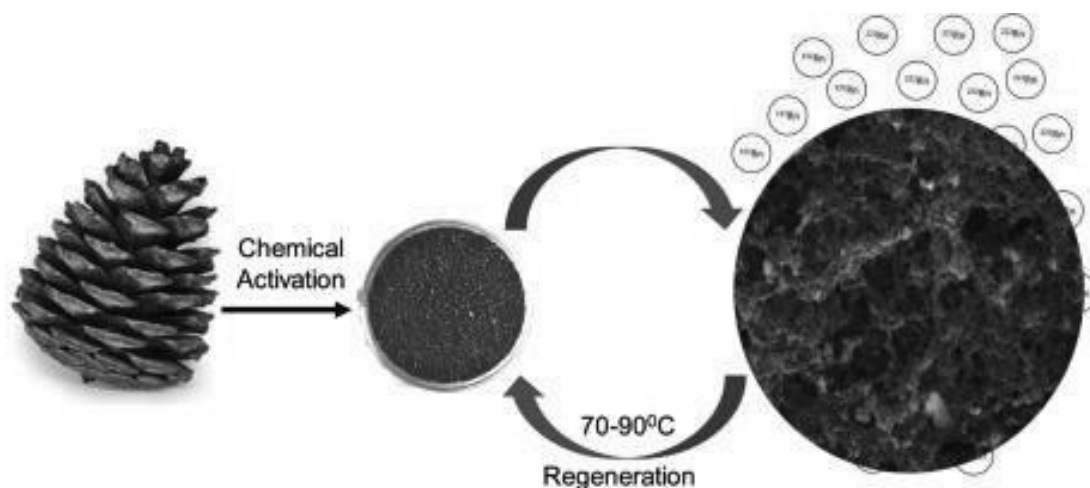


Рисунок 22 – Активированный уголь из биомассы для удаления из воздуха радона - 222

Однако значимым преимуществом метода абсорбции является тот факт, что радон не поступает в воздух, а фиксируется в замкнутом угольном фильтре, не создавая опасности для человека.

Использование в качестве сорбента цеолитов позволяет достаточно эффективно удалять радиоактивные загрязнения, позволяет удалять цезий 137 на 92% [46].

Существует ряд исследований целью которых является оценка применения природного цеолита для адсорбции радона. Было проведено исследование, основанное на измерениях адсорбции радона различными гранулированными цеолитами. Образцы цеолита подвергались воздействию повышенных концентраций радона до 1800 Бк/м³ внутри закрытой камеры (объем $\approx 5,4 \times 10^{-3}$ м³). Количество поглощенного радона измерялось гамма-спектроскопией высокого разрешения. Было измерено и обсуждено влияние

размера частиц. Обнаружено, что коэффициенты адсорбции, полученные в эксперименте для образцов природного цеолита для различных грануляций, аналогичны коэффициентам адсорбции для силикагеля, но они на порядок ниже, чем коэффициент адсорбции радона для синтетического цеолита. Коэффициент адсорбции активированного угля, полученный в эксперименте ($\approx 3 \text{ м}^3/\text{кг}$), в среднем в 50 раз выше по сравнению с коэффициентами адсорбции, полученными для образцов цеолита ($0,038 \text{ м}^3/\text{кг} - 0,11 \text{ м}^3/\text{кг}$). Все коэффициенты адсорбции определены для очень низкой относительной влажности воздуха около 7%, поскольку простая экспериментальная установка не позволяла изменять относительную влажность или температуру. [47]

Этот метод дороже аэрации воды. Применим для одиночной системы водоснабжения или центрального водоснабжения ограниченной мощности. Следует помнить, что в фильтре накапливается радон, из которого образуются продукты распада, являющиеся источниками гамма-излучения [48-50]. Технологическая схема очистки воды по сорбционной технологии представлена на рис. 23;

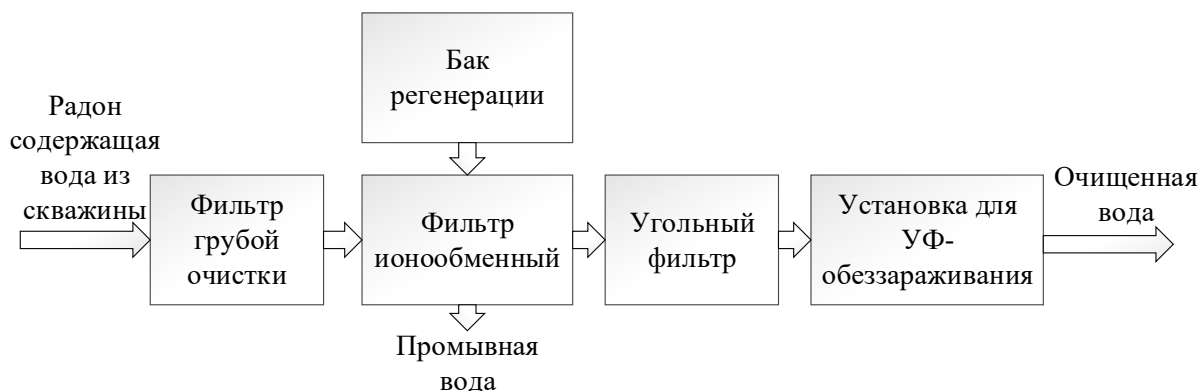


Рисунок 23 – Технологическая схема очистки воды от радона сорбцией

- мембранная фильтрация - это разделение веществ в растворах на полупроницаемых мембранах. Разделение осуществляется под действием внешней движущей силы (электрического поля, разности концентраций или

давления). Это позволяет разделить дисперсные системы на компоненты. Метод позволяет извлекать из воды радон и другие радионуклиды, в том числе одновалентные ионы радиоактивных тяжелых металлов - лития, таллия и свинца. Благодаря этому методу их концентрация в воде снижается более чем в пять раз. [48-50]. Технологическая схема с использованием мембранной технологии приведена на рис. 24;

Преимуществами мембранных технологий водоподготовки, помимо степени очистки воды, являются низкое энергопотребление, отсутствие химических реагентов, автоматический режим работы, простота эксплуатации и обслуживания, компактность.

Недостатками мембранных методов являются:

- низкая минерализация очищенной воды и низкий показатель рН;
- в некоторых случаях образование отходов с повышенным содержанием естественных радионуклидов (отработанные мембраны, обратная вода).

Кроме того, практическое применение мембран ограничивается следующими факторами:

мембраны, даже в большей степени, чем гранулированный фильтрующий материал и ионообменные смолы, критичны к «заращению» органическими веществами и забивания поверхности нерастворимыми частицами. Это означает, что мембранные системы требуют достаточно тщательной предварительной очистки воды, в частности - удаления взвешенных веществ и органических веществ;

- высокая цена. Их использование рентабельно только там, где требуется вода очень высокого качества (например, в пищевой и фармацевтической промышленности, медицине, производстве оружия, космических исследованиях).

- аэрация - отдувка воздухом - очень эффективно снижает концентрацию инертного газа в воде. Эффективность технологии аэрации составляет примерно 90%, что снижает количество нежелательных примесей радона в десять раз, аэрация снижает его концентрацию в воде в 100 ... 120 раз [48-50]. Технологическая схема с использованием аэрации представлена на рис. 25.

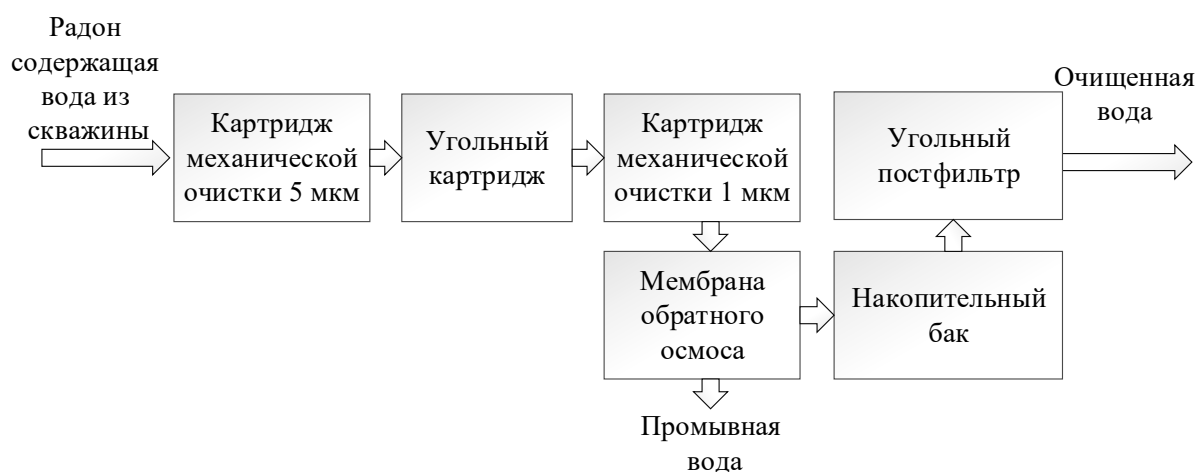


Рисунок 24 – Технологическая схема очистки воды от радона мембранной фильтрацией

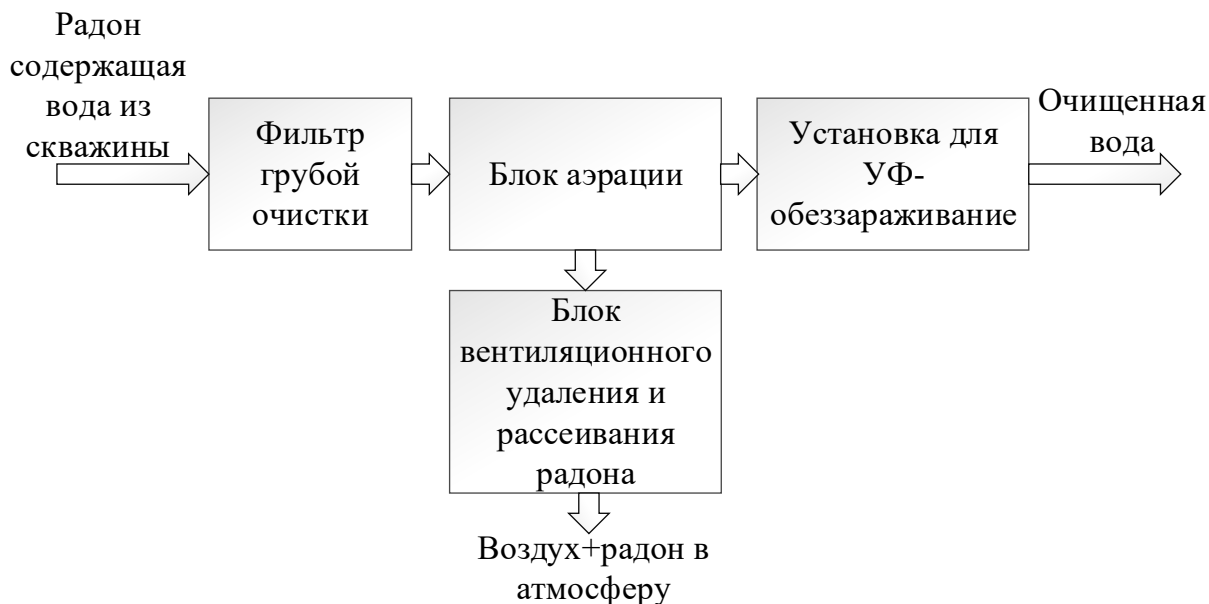


Рисунок 25 – Технологическая схема очистки воды от радона аэрацией

Сравнительная характеристика рассматриваемых методов удаления из воды радиоактивных элементов приведена в таблице 18. Из таблицы видно, что каждый из методов имеет как преимущества, так и недостатки. По моему мнению, наименее затратный и более безопасный в радиационном отношении – это метод удаления из воды радона аэрацией.

Таблица 18 – Эффективность методов удаления из воды радиоактивных элементов

Метод очистки	% удаления	Примечание
Диффузионная аэрация в насадочной колонне	78...99,9	- проверенная технология; - низкие эксплуатационные расходы; - требуется предварительная очистка; - возможны проблемы загрязнения атмосферы отходящими веществами.
Пневматическая аэрация (диффузия барботажем)	71...99,9	- проверенная технология; - низкие эксплуатационные расходы; - компактность оборудования; - требуется предварительная очистка; - возможны проблемы загрязнения атмосферы отходящими веществами.
Аэрация разбрызгиванием	35...99,9	- для высокой эффективности необходимо большее количество повторов процедуры очистки; - проблемы эксплуатации в холодных условиях.
Безнапорная аэрация в лотках	70...94	- требуется предварительная очистка; - возможны проблемы, связанные с температурой
Упрощенные методы аэрации	10...96	- большая общая площадь, занимаемая оборудованием; - возможны проблемы, связанные с температурой
Гранулированный	70...99	- продолжительный период контакта

Метод очистки	% удаления	Примечание
активированный уголь		воды с углем; - проблемы загрязнения активированного угля продуктами распада радона и проблема дальнейшей его утилизации
Обратный осмос	99,9	- требуется предварительная очистка; - проблемы загрязнения мембраны фильтра продуктами распада радона и утилизации отслужившей мембраны

Два других метода связаны с образованием и накоплением радиоактивных отходов и необходимостью установки дополнительного экранирующего оборудования для защиты обслуживающего персонала.

Новые методы очистки питьевой воды от радона

Недавние исследования показали, что чтобы улучшить адсорбционную способность активированного угля (АС), одномерный наноаттапульгит (АТ) был заполнен макропорами и мезопорами активированного угля и спечен для получения композитов активированный уголь / аттапульгит (АС / АТ) с более обильные микропоры. Детально изучено влияние АТ на структуру и адсорбционную способность активированного угля по радону. Результаты показывают, что АТ может легко диффундировать в макропоры и мезопоры активированного угля с образованием новой иерархической пористой сети, которая значительно увеличивает удельную поверхность и долю микропор активированного угля. Свежеприготовленные композиты АС / АТ демонстрируют отличные характеристики адсорбции и регенерации радона. При содержании наполняющего АТ от 0 до 3% коэффициент адсорбции радона увеличивается с 4,28 л / г до 5,35 л / г. Особенности данного материала:

- АТ может легко диффундировать в активированный уголь для приготовления композитов АС / АТ.

- Композиты АС / АТ содержат больше микропор, чем активированный уголь.
- Композиты АС / АТ обладают высокой адсорбционной способностью к радону.
- Композиты АС / АТ обладают высокой адсорбционной способностью к радону [52].

2.2 Удаление радона из воздуха поступающего при очистке воды при использовании метода аэрации

Основным недостатком физических методов удаления радона является его переход в приповерхностный воздух и, как следствие, опасность облучения человека радоном и продуктами его распада. При таком подходе необходимы дополнительные средства для удаления радона из воздуха в помещении и его рассеивания в атмосфере.

Меры по поддержанию концентрации радона в воздухе помещений на приемлемом уровне могут осуществляться по двум направлениям: предотвращение попадания радона в помещения и удаление радона из воздуха в помещениях.

В Европе и США для решения этой проблемы в местах выделения радона устанавливают принудительную вентиляцию [19].

В России существуют различные изобретения, патенты позволяющие справиться с данной проблемой:

- способ снижения эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона в помещении (RU 2101790) путем удаления из воздушной среды короткоживущих дочерних продуктов радиоактивного распада за счет создания электростатического поля с помощью генератора с холодной эмиссией электронов.

- вентиляция помещения эффективно используется для снижения концентрации радона в воздухе, но приводит к выхолаживанию помещения и ведет к увеличению затрат на отопление всего здания. При использовании принудительной вентиляции давление в помещении должно быть выше, чем снаружи, что влечет за собой увеличение влажности в помещениях. Поэтому применяется также очистка от радона без воздухообмена между помещением и окружающей средой.

- рециркуляция воздуха через фильтр из активированного угля, сорбирующего радон, без поступления наружного воздуха, заключающийся в пропускании воздуха через поглотительные фильтры из активированного угля, сорбирующие радон, отличающийся тем, что очищенный воздух подвергают сжатию, пропуская его через воздушный компрессор, и поддерживают установленное значение величины подпора воздуха в помещении сооружения с помощью управляемого редуктора рис. 26 [53].



Рисунок 26 – Схема очистки воздуха в помещении от радона

Устройство содержит поглотительный фильтр из активированного угля, расположенный снаружи защитного сооружения ГО, на вход которого поступает атмосферный воздух, воздушный компрессор, управляемый редуктор, устройство для управления редуктором, внутренний и наружный датчики давления. При этом выход фильтра из активированного угля соединен с входом компрессора, выход которого подключен к входу управляемого

редуктора, а через выход управляемого редуктора очищенный и сжатый воздух поступает в защитное сооружение, устройство управления редуктором, на входы которого поступают сигналы с наружного и внутреннего датчиков давления, подключен своим выходом к управляемому редуктору.

Очистку осуществляют следующим образом:

Атмосферный воздух поступает на фильтр из активированного угля, где происходит очистка воздуха от радона путем его сорбирования, затем по воздуховоду очищенный от радона воздух поступает внутрь сооружения на вход воздушного компрессора, где он сжимается и создается необходимый запас сжатого воздуха для регулирования давления воздуха в сооружении, далее очищенный и сжатый воздух с заданным давлением через управляемый редуктор поступает в защитное сооружение. Заданное давление в помещении защитного сооружения ГО, которое должно быть выше атмосферного, поддерживают с помощью устройства управления редуктором, на входы которого подается информация с датчиков давления. Устройство управления редуктором обрабатывает полученную с датчиков давления информацию и вырабатывает управляющий сигнал. Управляющий сигнал поступает на управляемый редуктор, который поддерживает заданное давление (установленное значение подпора воздуха) в защитном сооружении.

Таким образом, в защитное сооружение поступает очищенный от радона воздух, и предотвращается проникновение радона внутрь защитного сооружения через ограждение конструкций за счет установленного значения величины подпора воздуха.

Недостатками указанного способа являются: во-первых, необходимость контролировать снижение поглощающей способности сорбента и проводить его замену (регенерацию), во-вторых, ограниченная скорость поглощения радона, а

также, в- третьих, трудности в использовании в запыленной и загазованной атмосфере, связанные с загрязнением активной поверхности сорбента.

- установка для газогидратной очистки воздуха от радона, работающая по принципу принудительной рециркуляции воздуха помещения без поступления наружного воздуха, включает узел сорбции радона, узел подачи загрязненного воздуха, узел подачи воды, узел подачи вспомогательного гидратообразующего вещества, сепаратор гидратов, узел охлаждения, при этом узел сорбции выполнен в виде проточного реактора, в котором сорбция радона происходит в массе газовых гидратов вспомогательного вещества, производимых в процессе работы установки.

Предлагаемая полезная модель позволяет эффективно решить задачу очистки воздуха от радона, в том числе в условиях запыленности и загазованности, без использования сорбента, реакционная поверхность которого может засориться, и с постоянной скоростью очистки.

Техническим результатом является обеспечение возможности эффективной непрерывной очистки воздуха от радона при любых, даже малых концентрациях его в воздухе, путем сепарации из воздуха образующихся двойных газовых гидратов радона и вспомогательного вещества, без необходимости частой замены расходных материалов (имеются ввиду угольные фильтры сравнение с наиболее близким аналогом).

Перспективным направлением, возможно, будет использование электростатического фильтра, как устройства для очистки воздуха от продуктов распада радона в жилых и бытовых помещениях, разрабатываемым в Республике Беларусь Дмитрием Колесниковым и Иваном Кравченко. В основе их идеи работает электростатика, ведь продукты распада радона — это ядра атомов с существенным положительным зарядом. Конечно, потеряв скорость они отберут часть электронов у воздуха или обычных пылинок, прилипнув к

последним с формированием аэрозоля. Впрочем, положительный заряд у которого сохранится. Таким образом появится электрод, заряженный отрицательно. Вокруг него распространится электрическое поле, а попав под его действие положительно заряженные пылинки устремятся к источнику поля — на электрод тем самым, ДПР будут собраны на небольшой площади, где их распады легче точно измерить, рис. 27.

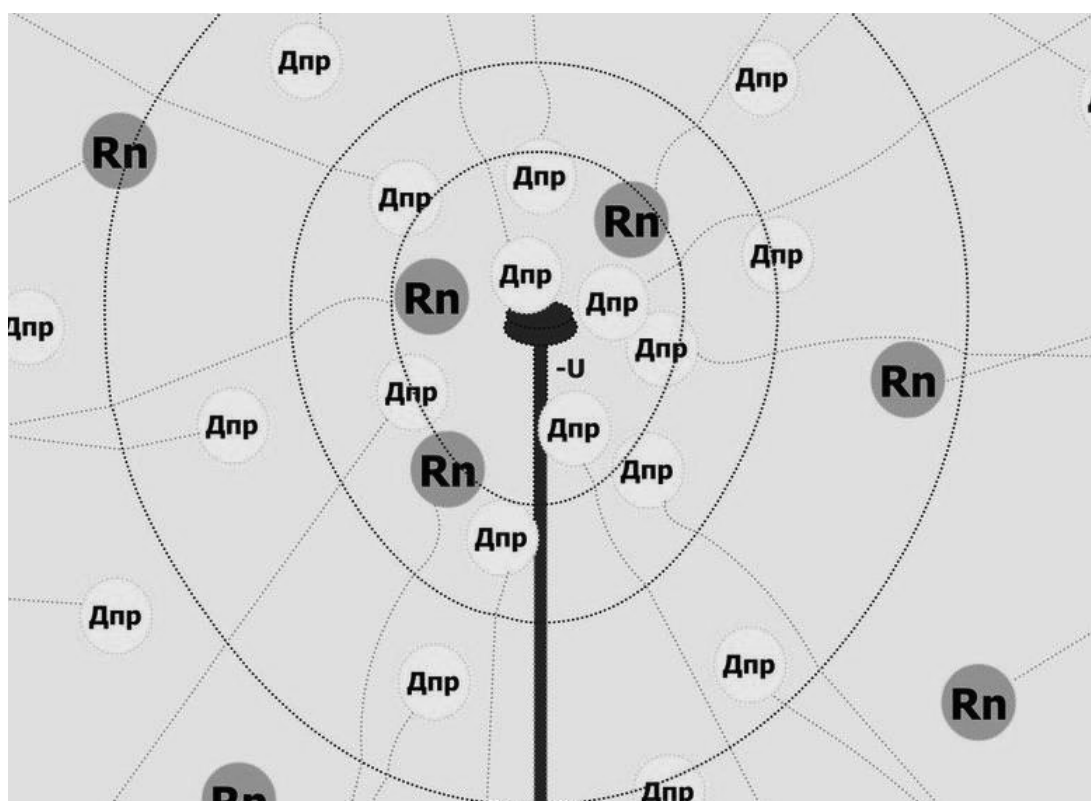


Рисунок 27 – Действие электростатики на радон и ДПР

Этот эффект можно использовать для очистки, основанной на заборе ДПР из ближайшего объема воздуха, и пройдет время, пока радон восстановит их концентрацию. Кроме того, даже сам свежесформированный радон будет иметь заряд, следовательно, будет улавливаться.

В настоящее время, с целью выявить эффективность электростатического накопления ДПР применительно к очистке проводятся исследования. [54]

Проведенный литературный анализ показал, что уровень радона, превышающий допустимые пределы, негативно влияет на здоровье человека. Защита, в том числе очистка, воды хозяйственно – питьевого водоснабжения от него является насущно необходимой. Для использования в качестве питьевой воды из скважины в поселке «Терема», необходимо проводить её очистку одним из вышеуказанных методов.

3 Технико – экономическое сравнение систем удаления радиоактивных загрязнений из воды

3.1 Сведения о объекте

Без питьевой воды наша жизнь невозможна. От ее качества и количества применения зависят многие системы правильной работы организма человека. Имея частный дом, хочется получать хорошую и чистую воду. Для этого и подключают системы очистки воды.

Источником водоснабжения частного дома, особенно если он расположен за городом, чаще всего является скважина, колодец и даже открытый водоем.

Для обеспечения водой, частный дом можно подключить к центральной водной магистрали. Хорошо, когда есть такая возможность. Если нет, то можно организовать локальную систему водоснабжения. У обеих систем есть свои преимущества и недостатки, которые будут проанализированы в работе.

В качестве объекта для выполнения сравнения был принят посёлок Терема в Сосновском районе Челябинской области. Поселок входит в Кременкульское сельское поселение.

Расположен рядом с Курчатовским районом города Челябинска. Ближайший населённый пункт — посёлок Вавиловец. Расстояние до районного центра, села Долгодеревенское — 28 км.

Изначально начал строиться в 1990-е годы как коттеджный посёлок. В 2010 году утвержден проект планировки территории общественно-деловой зоны поселка и ведётся его поэтапная реализация.

19 августа 2014 года председатель правительства Дмитрий Медведев подписал приказ о присвоении населённому пункту название «Терема» на основании Постановления Правительства РФ [60].

Климатическая характеристика приведена на основании наблюдений Челябинской метеорологической станции [61]. Климат территории континентальный с холодной продолжительной зимой и тёплым сухим летом. Весна короткая (до 1,5 месяцев), обычно холодная, с ветрами и поздними заморозками. Лето короткое и жаркое, с малым количеством осадков (возможны короткие бездождевые периоды), длится более четырех месяцев (с начала мая до середины сентября). Осень короткая: первая половина более дождливая, вторая — обычно сухая с ранними заморозками. Зима холодная и снежная: средняя месячная температура наиболее холодного месяца $-15,1$ °С, высота снежного покрова составляет 30,0-40,0 см, наблюдаются метели в течение 30-35 дней. Территория относится к зоне достаточного увлажнения: в среднем за год выпадает 400 мм осадков, среднегодовая относительная влажность воздуха составляет 72%. В течение всего года, и особенно зимой, преобладают юго-западные ветры и северо-западные ветры (60%), среднегодовая скорость ветра около 3,5-4,5 м/сек. Суммарная солнечная радиация за год достигает 100 ккал/кв.см в год, среднегодовой радиационный баланс 35-36 ккал/кв.см. Согласно СП [62] территория населенного пункта относится к климатическому подрайону IV.

Рельеф территории – холмистая поверхность, характерная для Западно-Сибирской низменности, с общим уклоном в восточном направлении.

Геологическое строение определяется местоположением населенного пункта на Восточно-Уральском поднятии согласно «Тектонической карте Челябинской области» и представлено зоной развития гранитного массива с участием аллювиальных (мощность отложений достигает 1,5-3,0 м, залегание линзообразное или косослоистое), палеогеновых (распространены в виде отдельных линз, глубина залегания непостоянна и не превышает 2,0-3,0 м) и интрузивных пород.

Почвы – как правило, черноземы выщелоченные и оподзоленные.

Гидрологическая сеть территории представлена ручьем и прудом естественного происхождения без названий, которые не включены в Государственный водный реестр Челябинской области. (Общепринятое название, используемое в обиходе местными жителями, – «Сорочий лог».)

В гидрогеологическом отношении территория характеризуется распространением вод, представляющих собой скопление подземных вод в гидравлически разобренных линзах и пропластках, залегающих на различной глубине и находящихся внутри осадочной водопроницаемой или слабо проницаемой толщи.

Принимая во внимание отмеченные природные условия, территория благоприятна для строительства и хозяйственного освоения при условии организации мероприятий по инженерной подготовке и благоустройству отдельных ее участков.

В настоящее время можно говорить об отсутствии в населенном пункте общественных центров, дефиците объектов социального и коммунально-бытового обслуживания населения, общественного пассажирского транспорта и инженерной инфраструктуры.

С целью перспективного развития территории необходимо развить систему общественно-деловых зон и рекреационных участков, упорядочить производственные (коммунальные) площадки с организацией санитарно-защитных зон, усовершенствовать транспортную сеть, включая общественные пассажирские перевозки, а также обеспечить селитебные территории инженерной инфраструктурой.

Для исследования пригодности воды для хозяйственно-питьевых нужд была взята проба из скважины глубиной 45. По солесодержанию, окисляемости, рН, мутности, цветности и др. важным для питьевой воды показателям всё

показатели находятся в пределах нормы, регламентируемой нормативным документом [1]. Проблему качества воды выявило радиохимическое исследование, результаты которого приведены в табл. 19.

Таблица 19 – Качественные показатели воды водозаборной скважины

Измеряемый параметр	Объемная активность (при P = 0,95), Бк/л	Норматив, Бк/л [1]
pH = 7,14		
Общая минерализация 162,5 мг/л		
Суммарная α	0,23±0,10	0,2
Суммарная β	0,10±0,04	1,0
^{222}Rn (радон-222)	183±20	60
^3H (тритий)	<10	7600

Из таблицы видно, что вода имеет превышение по радону, фактический показатель 183±20 Бк/л, при допустимой концентрации не более 60 Бк/л.

Так как проведенный выше анализ методов очистки воды от радона показал, что наименее затратный и более безопасный в радиационном отношении – это метод удаления из воды радона аэрацией, его и будем использовать. Сегодня на рынке представлен широкий спектр аэрационных систем очистки воды от радона заводского изготовления. На рис. 28 приведена принципиальная схема очистки воды от радона.

Таким образом мы видим, что природные условия и территория поселка благоприятны для строительства и хозяйственного освоения, но основной проблемой для его развития является обеспечение его жителей безопасной для жизни и здоровья питьевой водой.

Из рассмотренных выше методов очистки воды от радиоактивных загрязнений наиболее простой и экономически выгодный – аэрация. Именно этот метод и будет выбран для очистки воды в поселке Терема.

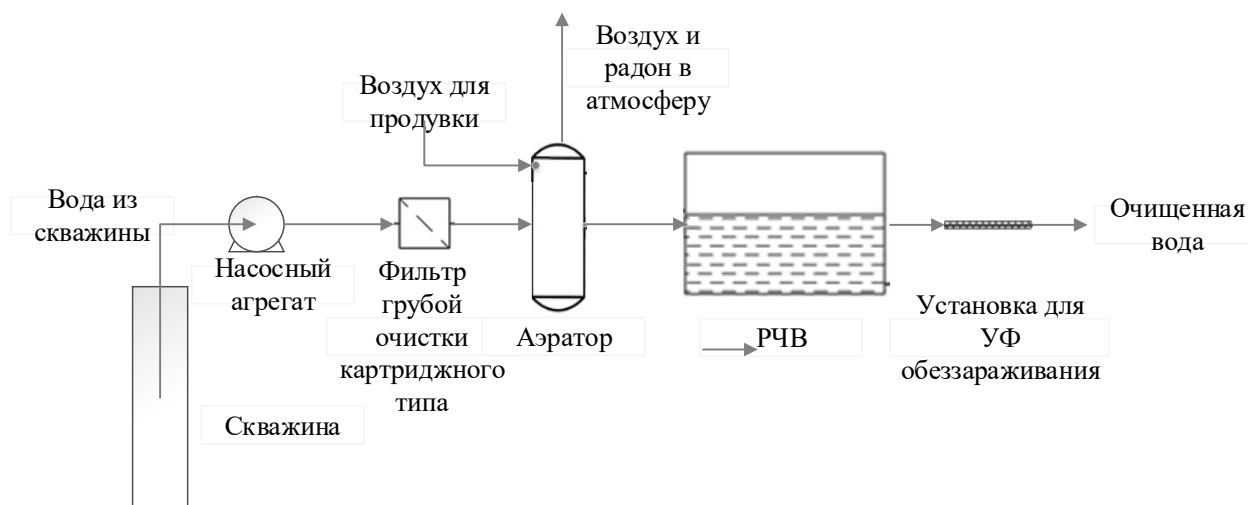


Рисунок 28 – Принципиальная схема очистки воды от радона

Аэрацию можно применять в рамках локальной системы очистки (водоснабжение для каждого дома индивидуально), или с помощью очистных сооружений на весь поселок.

Для выбора конкретной системы очистки необходимо провести экономический расчет себестоимости 1 м³ воды и сравнить полученные результаты.

3.2 Локальная система водоснабжения индивидуального дома в коттеджном поселке

Бытовые системы очистки воды, фильтры для питьевой воды, в том числе для частного дома, решают все проблемы некачественной воды из скважин. Главное - правильный подбор, монтаж, эксплуатация и обслуживание систем водоочистки и фильтров для воды. Правильно подобранные системы очистки воды и правильное их обслуживание способны гарантировать отличные показатели воды на выходе, и будут давать необходимый результат.

Современные системы локальной очистки обладают рядом преимуществ:

- ✓ они занимают минимальную площадь,

- ✓ просты в обслуживании,
- ✓ легко подвергаются модернизации.

Использование средств автоматизации существенно снижает стоимость эксплуатации оборудования, а также снижает нежелательное влияние человеческого фактора.

Еще одной особенностью водоочистки в загородном доме является ее стационарность: как правило, для этого используются подсобные помещения, в которых, кроме того, обеспечивается поддержание температуры воздуха выше 0 °С, что гарантирует бесперебойную работу системы круглый год.

Рассмотрим возможность локального водоснабжения для нашего объекта.

Суточное количество потребляемой на хозяйственно-питьевые нужды воды частного дома зависит от нормы водопотребления, назначаемой в зависимости от степени благоустройства жилой застройки.

В работе принято 210 л/сут на человека (потребители с водопроводом, канализацией и ваннами с емкостными водонагревателями) [58], учитываем поправочный коэффициент для климатического района III – 1,15.

$$210 * 1,15 = 241,5 \text{ л/сут.}$$

Расчетный суточный расход воды, м³/сут, на хозяйственно-питьевые нужды дома составит - определим по формуле

$$Q_{\text{ср.сут}} = \sum \frac{q_{\text{жи}} * N_{\text{п}}}{1000} = \frac{241,5 * 3}{1000} = 0,7245 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (1)$$

где $q_{\text{жи}}$ – удельное среднесуточное водопотребление на одного человека, определяют в зависимости от степени благоустройства жилья, л/сут чел;

$N_{\text{жи}}$ - расчетное число жителей в доме, чел.

Средний состав семьи согласно официальной публикации итогов всероссийской переписи населения 2010 года [56] составляет 2,6 человек, принимаем 3 человека.

На основании п.1 примечания к табл. 3 [57] определяем удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на поливку зеленых насаждений общего пользования в расчете на одного жителя равно 50 л/сут. Количество поливок принято один раз в сутки. Расход воды на полив составит 0,15 м³/сут.

Итого суточное потребление для одного дома для семьи из трех человек составит $0,7245 + 0,150 = 0,8745$ м³/сут.

Рассмотрим очистку воды для частного дома. На рис. 29 представлена схема используемого оборудования.

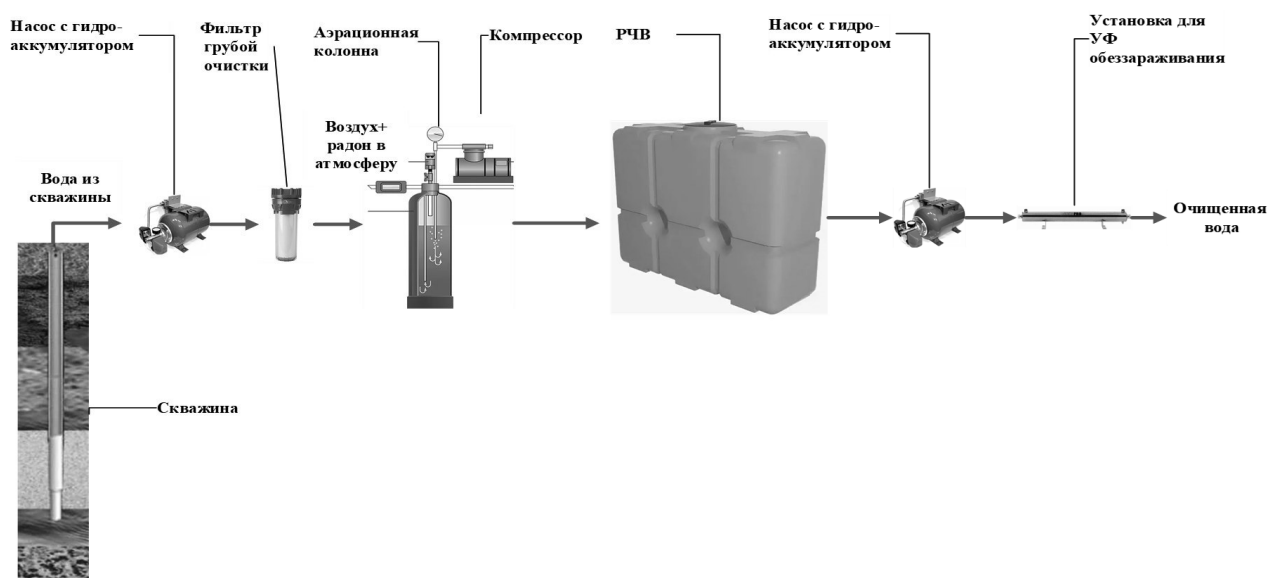


Рисунок 29 – Схема используемого оборудования для ЛОС

Установка включает в себя фильтры грубой и тонкой очистки, безнапорную аэрацию, насосную станцию. Обеззараживание воды предполагается с помощью ультрафиолетового излучения.

На рис. 30 приведена схема очистки воды от радона, разработанная компанией г. Челябинска для индивидуального дома. Установки, работающие по данной схеме, успешно применяются для очистки воды от радона в различных поселках Челябинской области [33].

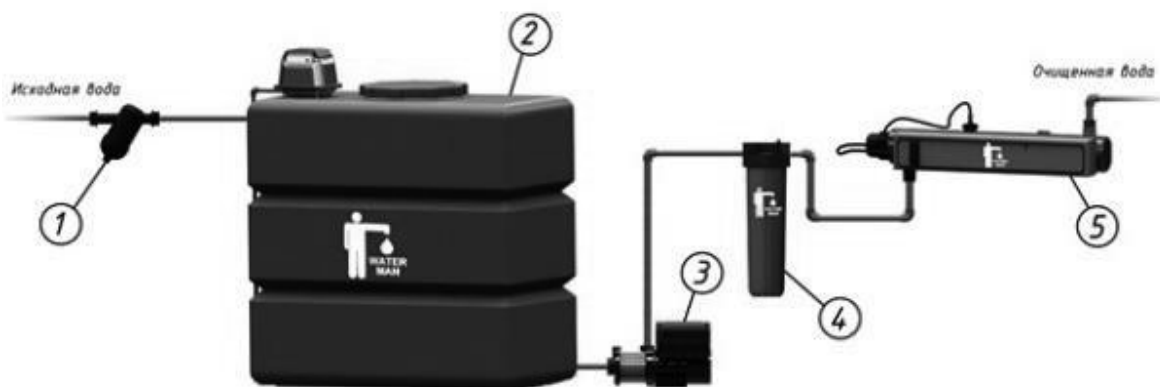


Рисунок 30 – Система очистки воды от радона

Установка рассчитана на количество проживающих в доме не более 3 человек. Радон не более 600 Бк/л. Остальные показатели в пределах нормативных значений.

Установки компактны, рассчитаны на небольшую производительность, оборудование, входящее в состав установки может быть установлено в техническом помещении на площади не более 3 м². Базовый комплект, позволяющий эффективно удалить радон (без дополнительного умягчения, и удаления железа) доступен по цене и рассчитан на очистку воды для 3 человек, что достаточно для индивидуального дома.

Стоимость данной индивидуальной очистки представлена в табл. 20 (цены актуальны на 16.05.2021).

Таблица 20 – Расчет стоимости типового решения очистки воды от радона для частного дома

№	Комплектующие	Цена, руб.
1	Фильтр механической очистки 130/1 M-Disk	1 900
2	Блок аэрации Aero M2	39 080
3	Насосная станция ASP154M с блоком управления	22 550
4	Фильтр тонкой очистки 20h Multi 1-1	4 500

№	Комплекующие	Цена, руб.
5	Ультрафиолетовый стерилизатор Ultra-V-1 Wonder	12 700
Итого за оборудование		80 700
	Монтажные работы	15 300*
	Сантехнические материалы	12 350*
Итого с установкой		108 380

* стоимость при размещении системы на участке с ровным полом 1x2,5 м, креплением трубопроводов к прилегающей стене и непосредственной близости водопровода, канализации и электрических розеток к месту установки. [51]

Для качественной работы данной системы необходимы следующие расходные материалы, представлены в табл. 21.

Таблица 21 – Расчет стоимости расходных материалов

№	Комплекующие	Цена расходных материалов, руб.
1	Фильтр механической очистки 130/1 M-Disk	-
2	Блок аэрации Aero M2	-
3	Насосная станция ASP154M с блоком управления	-
4	Фильтр тонкой очистки 20h Multi 1-1	Замена картриджа осуществляется 1 раз в 6 месяцев. Затраты – 250 рублей/месяц.
5	Ультрафиолетовый стерилизатор Ultra-V-1 Wonder	Замена ультрафиолетовой лампы осуществляется 1 раз в год. Затраты – 300 рублей/месяц.
	Итого, год	6 600

Ежегодное обслуживание установки составит – 6 600 тыс. руб.

Затраты на электричество в год составят – 6 862 руб./год, табл. 22.

Таблица 22 – Расчет стоимости электричества при работе установки

Показатель	Ед.изм.	
Количество электроэнергии потребляемое оборудованием	кВтч	0,8
Время работы оборудования	ч	10
Цена (тариф-потребители, приравненные к сельскому населению с 01.01.2021 по 30.06.2021)	руб./кВтч	2,35
Итого	руб.	6 862

*Тариф-потребители, приравненные к сельскому населению с 01.01.2021 по 30.06.2021

Стоимость бурения скважины 81 000 руб (1 800** руб/м * 45 м).

**Стоимость бурения 1 метра составляет на 16.05.21 - 1 800 руб./м. – «Первая буровая компания».

Для подачи воды из скважины подобран погружной центробежный многоступенчатый электронасос Taifu 4STM3-10 стоимостью 12 500 руб.

В соответствии с [33, п.п 4.1] за качеством питьевой воды должен осуществляться государственный санитарно – эпидемиологический надзор и производственный контроль.

Количество и периодичность проб воды для подземных источников в местах водозабора, отбираемых для лабораторных исследований, устанавливается с учетом требований, указанных в табл. 23.

Для контроля над за качеством воды согласно [26] необходимо проводить анализ воды в специальной аккредитованной лаборатории. Ежегодные затраты на данную статью составят 18 500 руб/год.

Срок эксплуатации системы принят 25 лет.

Общие затраты на очистку воды для частного дома на 25 лет представлены в табл. 24 и составляют 1 000 930 руб.

Таблица 23 – Расчет стоимости анализа воды

Виды показателей	Количество проб в течении одного года, не менее	Цена, 1 анализа руб.	Стоимость в год, руб.
Микробиологические	4 (по сезонам года)	1500	6 000
Паразитологические	Не проводятся		0
Органолептические	4 (по сезонам года)	1200	4 800
Обобщенные показатели	-		0
Неорганические и органические вещества	1	5000	5 000
Радиологические	1	2700	2 700
Итого			18 500

Таблица 24 – Расчет стоимости очистки воды на весь срок эксплуатации

Наименование	Стоимость, руб.	Стоимость всего срока эксплуатации, руб.
Комплект системы очистки	108 380	108 380
Расходные материалы	6 600	165 000
Электроэнергия	6 862	171 550
Бурение скважины	81 000	81 000
Насос	12 500	12 500
Анализ воды	18 500	462 500
Итого		1 000 930

Расход воды на 25 лет равен $0,8745 * 365 * 25 = 7\,980$ м³

Таким образом стоимость 1 м³ очищенной воды составит – 125,43 руб.:

$$1\,000\,930 / 7\,980 = 125,43 \text{ руб./м}^3$$

Для загородного дома важно не только обеспечить наличие бесперебойной подачи воды из скважины, колодца или иного источника, но и гарантировать ей необходимую очистку.

Как правило, система водоочистки в загородных домах отличается многоступенчатостью и состоит из нескольких видов установок, выбор которых определяется данными анализа исходного состояния воды, а также объемом потребления в доме.

Для рассматриваемого варианта была подобрана система очистки воды с аэрацией, она работает в автономном режиме, и ее обслуживание сводится к своевременной замене соответствующих картриджей. Стоимость 1 м³ очищенной воды составит – 125,43 рубля.

3.3 Централизованная система водоснабжения коттеджного поселка

Централизованное водоснабжение – это система, обеспечивающая неограниченными объемами воды большое количество потребителей. Данный способ является наиболее оптимальным для загородных частных домов. В качестве основного источника воды здесь выступает скважинный водозабор высокой производительности.

Система центрального водоснабжения включает в себя подземный водозабор, насосную станцию 1-го подъема, станцию водоподготовки, водопроводную сеть.

Централизованная система водоснабжения для частного дома имеет следующие преимущества:

- ✓ Нет необходимости в бурении скважины и последующего ее обустройства на собственном участке;
- ✓ Открывается доступ к воде питьевого качества всех потребителей населённого пункта;
- ✓ Обслуживание водопровода, контроль за состоянием труб, проверка качества воды и ее напора осуществляют соответствующие коммунальные управления;

- ✓ Независимость водопровода от наличия напряжения в электросети;
- ✓ Не требуется сооружение специальных накопительных емкостей;
- ✓ Сравнительно быстрое выполнение работ, связанных с подключением дома к магистральной линии централизованной системы;
- ✓ Достаточный напор воды.

К сожалению, централизованное водоснабжение не лишено и ряда недостатков:

- ✓ Какой бы не была чистой скважина на воду, металлические трубы водопровода все равно могут приводить к появлению ржавчины в жидкости. При этом не имеет значения тот факт, что многие частные лица подключают свой дом к магистрали с помощью пластиковых труб;

- ✓ Присутствует необходимость в установке дополнительного очистного оборудования непосредственно в доме, так как для очистки воды на станциях, как правило, используется хлор, который существенным образом снижает ее качество;

- ✓ Требуется ежемесячный расчет за использованную воду (размер платы определяется с помощью специального счетчика);

- ✓ Авария на каком-либо участке водопровода, плановый технический осмотр или любое другое вмешательство в работу системы приведет к отключению всех абонентов.

- ✓ Стоимость подключения к данной системе зависит от объема и сложности выполненных работ. Цена может существенно разниться в тех или иных регионах.

Рассмотрим центральную водоподготовку для выше обозначенного объекта.

С целью определения структуры застройки различного функционального назначения населенного пункта Генеральным планом устанавливаются его

границы и планировочные единицы – планировочные районы №№ 1, 2 рисунок 31-33.

Централизованное водоснабжение – это система, обеспечивающая неограниченными объемами воды большое количество потребителей. Данный способ является наиболее оптимальным для загородных частных домов. В качестве основного источника воды здесь выступает скважинный водозабор высокой производительности.

Централизованное водоснабжение – это система, обеспечивающая неограниченными объемами воды большое количество потребителей. Данный способ является наиболее оптимальным для загородных частных домов. В качестве основного источника воды здесь выступает скважинный водозабор высокой производительности.

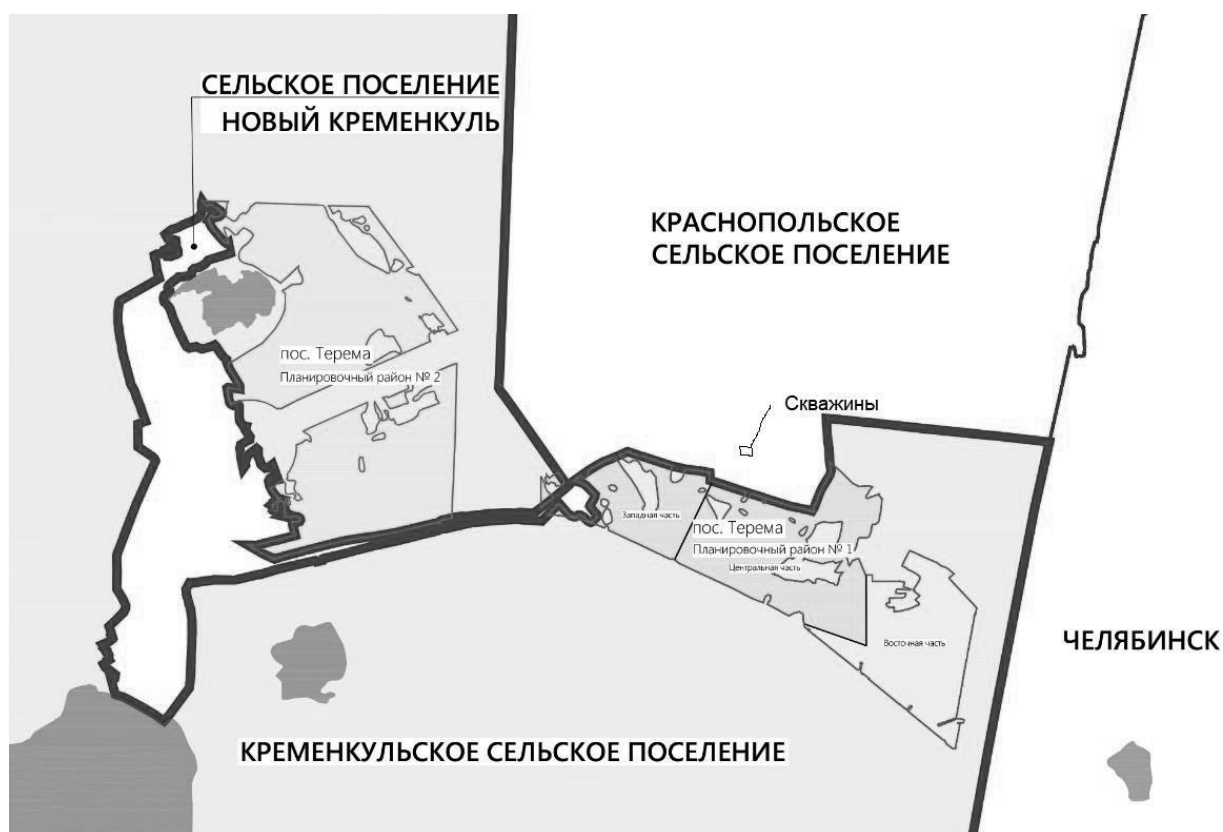


Рисунок 31 – Схема расположения планировочных районов



Рисунок 32 – Планировочный район №1



Рисунок 33 – Планировочный район №2

Согласно площадям жилой зоны по виду застройки (табл. 25) и расчету, приведенному в табл. 26, численность населения поселка Терема, проживающего в индивидуальных жилых домах на расчетный срок (2040 год) составит 1 600 человек.

Таблица 25 – Площади жилой зоны по виду застройки

Планировочный район	Площадь зоны застройки, га			
	индивидуальными жилыми домами			
	сущ.	сущ. сохр.	убыль	план.
№ 1 (западная часть)	-	-	-	-
№ 1 (центральная и восточная части)	37,15	37,15	-	14,53
№ 2	-	-	-	98,21
Всего	37,15	37,15	-	112,74
Итого*	149,89			

Примечания:

сущ. - существующая площадь зоны застройки,

сущ. сохр. - существующая сохраняемая площадь зоны застройки,

убыль - убыль площади зоны застройки (вынос, реконструкция),

план. - планируемая (к освоению) площадь зоны застройки,

* - суммарное значение существующей сохраняемой и планируемой площади зоны застройки с учетом убыли жилищного фонда;

«—» - показатель отсутствует.

Таблица 26 – Количество населения планировочных районов

Планировочный район	Население, тыс.чел.	Расчет (в укрупненных показателях)
№ 1 (западная часть)	-	-
№ 1 (центральная и восточная части)	0,75	Зона застройки индивидуальными жилыми домами: 285 домохозяйств x 2,6 чел. = 750 чел.
№ 2	0,85	Зона застройки индивидуальными жилыми домами: (0 + 98,21 га)/0,305 га x 2,6 чел. = 850 чел.
Всего	1,60	

Примечания:

1 - в скобках указана сумма площадей существующего сохраняемого и планируемого жилищного фонда;

2 – количество домохозяйств планировочного района №1 определено согласно сведениям Публичной кадастровой карты Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии для существующей застройки (235 земельных участков) и разработанного на основании постановления Администрации Сосновского муниципального района Челябинской области [55];

3 - средний состав семьи согласно официальной публикации итогов всероссийской переписи населения 2010 года [56] составляет 2,6 человек;

4 - средний размер участка при застройке индивидуальными жилыми домами принят 2000,0 кв.м согласно п. 1.4 «Предельные размеры земельных участков» местных нормативов градостроительного проектирования Кременкульского сельского поселения Сосновского муниципального района Челябинской области, в случае отсутствия планировочной структуры территории данный показатель принят 2500,0 кв.м и 3000,0 кв.м для существующей и планируемой

застройки соответственно с учетом последующего установления территории общего пользования.

В качестве альтернативы индивидуальному водоснабжению, рассмотрим централизованное водоснабжение, источником которого является подземные скважины. Различают следующие основные виды (категории) потребления воды: на хозяйственно-питьевые нужды населения, производственные нужды промышленных предприятий, поливку зеленых насаждений и мойку территорий населенных пунктов (улиц, площадей), тушение пожаров. Нормы хозяйственно-питьевого водопотребления приняты с учетом требований [57] в зависимости от степени благоустройства, этажности застройки. Принято, что население, проживающее в границах планирования на территории индивидуальной жилой застройки, будет пользоваться централизованным водопроводом со среднесуточными нормами водопотребления 241,5 л/сут. на 1 жителя (норма хозяйственно-питьевого водопотребления – 210 л/сут с учетом коэффициента 1,15 для III климатической зоны)

Расчетный суточный расход воды, м³/сут, на хозяйственно-питьевые нужды поселка определим по формуле:

$$Q_{\text{ср.сут}} = \sum \frac{q_{\text{жи}} * N_{\text{п}}}{1000} = \frac{241,5 * 1600}{1000} = 386 \text{ м}^3/\text{сут} \quad (2)$$

Расчетные расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления $Q_{\text{сут.мах}}$, $Q_{\text{сут.мин}}$, м³/сут., определим по выражениям:

$$Q_{\text{сут.мах}} = K_{\text{сут.мах}} Q_{\text{ср.сут.}} = 1,3 * 386 = 502 \text{ м}^3/\text{сут}; \quad (3)$$

$$Q_{\text{сут.мин}} = K_{\text{сут.мин}} Q_{\text{ср.сут.}} = 0,7 * 386 = 270 \text{ м}^3/\text{сут}, \quad (4)$$

где $K_{\text{сут.мах}}$ и $K_{\text{сут.мин}}$ - максимальный и минимальный коэффициенты суточной неравномерности водопотребления, учитывающие уклад жизни населения, режим работы предприятий, степень благоустройства зданий,

изменение водопотребления по сезонам года и дням недели. Эти коэффициенты принимаем равными: $K_{сут.маx} = 1,3$; $K_{сут.мин} = 0,7$.

Расчетные расходы воды на хозяйственно-питьевые нужды в часы наибольшего и наименьшего водопотребления $q_{ч.маx}$, $q_{ч.мин}$, $м^3/ч$, определим по формулам:

$$q_{ч.маx} = K_{сут.маx} \frac{Q_{сут\ max}}{24} = 2,34 * \frac{502}{24} = 49 \text{ м}^3/\text{час} \quad (5)$$

$$q_{ч.мин} = K_{сут.мин} \frac{Q_{сут\ min}}{24} = 0,05 * \frac{270}{24} = 0,6 \text{ м}^3/\text{час} \quad (6)$$

где $K_{ч.маx}$ и $K_{ч.мин}$ - максимальный и минимальный коэффициенты часовой неравномерности водопотребления.

$$K_{ч.маx} = \alpha_{маx} \beta_{маx} = 1,3 * 1,8 = 2,34 \quad (7)$$

$$K_{ч.мин} = \alpha_{мин} \beta_{мин} = 0,5 * 0,1 = 0,05 \quad (8)$$

где α - коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и другие местные условия, принимают $\alpha_{маx} = 1,3$; $\alpha_{мин} = 0,5$;

β - коэффициент, учитывающий число жителей в населенном пункте, принимаемый по таблице 2 [57] равным $\beta_{маx} = 1,8$, $\beta_{мин} = 0,1$.

Расчетное значение часового расхода переводим из $м^3/ч$ в л/с по формуле:

$$q_{сек.маx} = \frac{q_{ч.маx}}{3,6} = \frac{49}{3,6} = 13,6 \text{ л/сек} \quad (9)$$

На основании п.1 примечания к таблице 3 [57] определяем удельное среднесуточное за поливочный сезон потребление воды на поливку зеленых насаждений общего пользования в расчете на одного жителя равно 50 л/сут. Количество поливок принято один раз в сутки. Расход воды на полив составит 80 $м^3/сут$.

Суммарное водопотребление определяется как 582 $м^3/сут.$, включая 502 $м^3/сут.$ на хозяйственно-питьевые нужды, 80 $м^3/сут.$ на поливку зеленых

насаждений и мойку территорий общего пользования населенных пунктов (улиц, площадей).

Согласно [59, статье 68, п.4] в поселениях и городских округах с количеством жителей до 5000 человек, отдельно стоящих зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.2, Ф2, Ф3, Ф4 объемом до 1000 кубических метров, расположенных в поселениях и городских округах, не имеющих кольцевого противопожарного водопровода, зданиях и сооружениях класса функциональной пожарной опасности Ф5 с производствами категорий В, Г и Д по пожаровзрывоопасности и пожарной опасности при расходе воды на наружное пожаротушение 10 литров в секунду, на складах грубых кормов объемом до 1000 кубических метров, складах минеральных удобрений объемом до 5000 кубических метров, в зданиях радиотелевизионных передающих станций, зданиях холодильников и хранилищ овощей и фруктов допускается предусматривать в качестве источников наружного противопожарного водоснабжения природные или искусственные водоемы.

Предусматриваем в качестве источника наружного противопожарного водоснабжения недалеко расположенный природные водоемы «Градский прииск», «Сухой Лог», с обеспечением необходимых подъездов со всех сторон.

Рассмотрим схему водоснабжения для поселка, рис. 34.

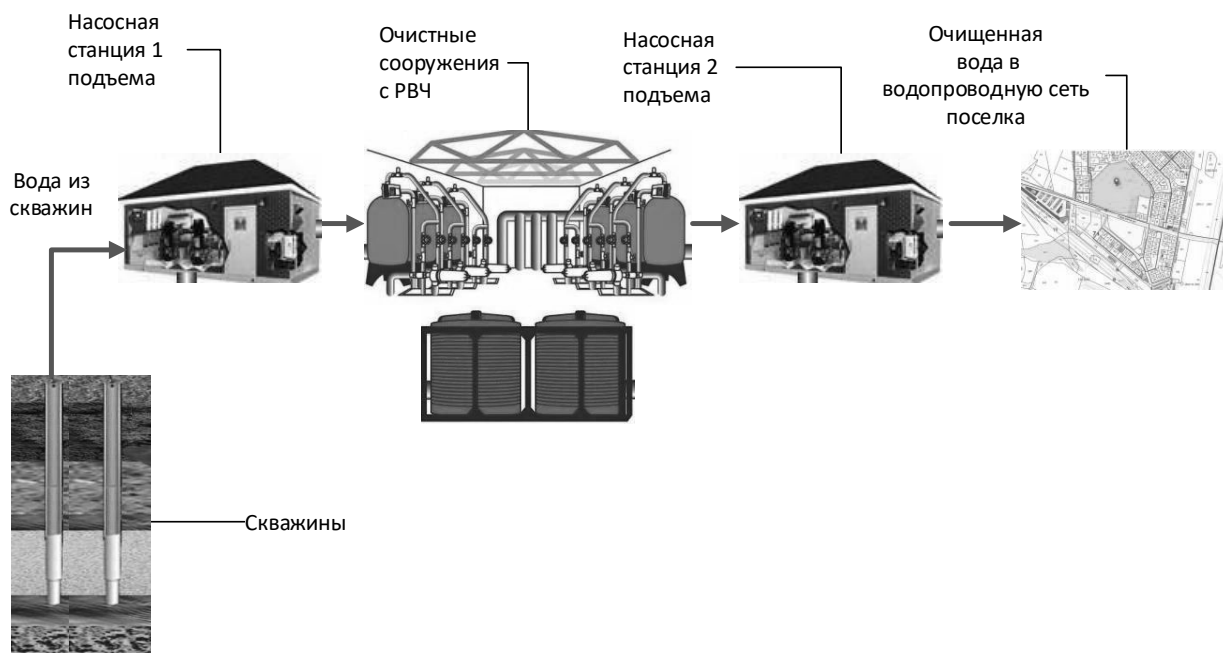


Рисунок 34 – Схема используемого оборудования для поселка
 Рассчитаем стоимость оборудование для поселка

3.2.1 Затраты на устройство подземного водозабора (скважин)

Поскольку система относится ко II категории надежности, то для организации подземного водозабора необходимо 2 скважины глубиной 45 метров.

Стоимость бурения 2 скважин $81\,000 \text{ руб.} * 2 = 162\,000 \text{ руб.}$ ($1\,800 \text{ руб./м} * 45 \text{ м} * 2 \text{ штуки}$).

**Стоимость бурения 1 метра составляет на 16.05.21 - $1\,800 \text{ руб./м.}$ – «Первая буровая компания».

Для подачи воды из скважины подобран насос GRUNDFOS SP 60-6 стоимостью $322\,721 \text{ руб.}$ [64] – это погружной скважный насосный агрегат. Гидравлические узлы насосов этой модели производят из нержавеющей стали марки AISI 304. Агрегаты комплектуются электродвигателем Grundfos MS и

предназначены для работы в погруженном состоянии. Принимаем два агрегата – 645 442 руб.

3.2.2 Затраты, связанные со строительством и эксплуатацией централизованной сети проектируемого поселка

Для доставки воды от источников водоснабжения к объектам обслуживания предназначены водоводы, которые прокладывают, как правило, не менее, чем в две линии. Через водоводы вода подается в наружную водопроводную сеть. Наружная водопроводная сеть служит для подачи воды непосредственно к местам ее потребления, т. е. к зданиям.

По конфигурации в плане наружные водопроводные сети подразделяются на разветвленные, или тупиковые и кольцевые, или замкнутые. Разветвленные водопроводные сети обычно используют для обеспечения водой небольших объектов, удаленных друг от друга, при допущении перерывов в водоснабжении. Кольцевые водопроводные сети устраивают при необходимости обеспечения бесперебойного водоснабжения. Кольцевые сети более надежны, так как предполагают двухстороннюю подачу воды к любому потребителю, но при этом имеют большую протяженность и поэтому более дороги.

Принята комбинированная схема сети с одним кольцом и тупиковыми ответвлениями. Протяженность сети составляет 17 тыс. км.

В водопроводной сети линии подразделяются на магистральные и распределительные. Для технико – экономического расчета учтены только магистральные линии.

Для расчета используются трубы из полиэтилена.

Монтаж полиэтиленовых труб осуществляют посредством нагревания стыковых участков, при этом используют фитинги и электросварные муфты.

Пластиковые трубы не склонны к зарастанию внутреннего сечения, имеют высокую коррозионную стойкость и поэтому длительный срок эксплуатации, имеют невысокую стоимость, малое гидравлическое сопротивление и небольшую массу, удобны в монтаже. Основным недостатком этих труб является большой коэффициент линейного расширения.

Протяженность магистральной линии 17 тыс.км, принимаем по [69] принимаем диаметр 200 мм. Выбираем трубу ПЭ 32SDR 21-200x9.6 Питьевая ГОСТ18599-2001 – труба из ПЭ100 наружным диаметром 200 мм с показателем SDR 21 и стенкой 9,6 мм для применения в системах питьевого водоснабжения с номинальным давлением PN 8. Она подходит для прокладки трубопровода открытым способом в траншею и закрытым — методом горизонтально-направленного бурения ГНБ.

Средняя цена трубы 950 руб/м.

Стоимость трубы составит 17 000 м * 950 руб/м= 16 150 000 руб.

Максимальная глубина промерзания грунта в Челябинске = 2.4 метра. Под «максимальной» подразумевается глубина промерзания при наихудших условиях – влажный скальный грунт, не покрытый снегом на открытой местности. Для грунта мелкий песок и супесь максимальное значение составляет 1,98 м.

Водопроводные линии следует принимать подземной прокладки.

Глубина заложения труб по низу трубы $h_{\text{залож}}$ для диаметра труб до 500 мм включительно определяем по формуле п.п. 11.40 [57]

$$h_{\text{залож}} = d * 0.3 + h_{\text{глуб.промерз}} = 0,2 * 0,3 + 1,98 = 2,04 \quad (10)$$

Где $h_{\text{глуб.промерз}}$ - расчетная глубина промерзания грунта, м;

d – диаметр трубы, мм;

Трубы будем прокладывать открытым способом в траншею. Средняя стоимость 1 м в Челябинске составляет 1 800 руб. [63].

Тогда стоимость бурения составит:

$$17\,000\text{ м} * 1\,800\text{ руб/м} = 30\,600\,000\text{ руб.}$$

Монтаж труб, их соединения согласно экспертной оценки составит - 3 060 000 руб.

Общие затраты на трубы и их прокладку составят $16\,150 + 30\,600 + 3\,060 = 49\,810$ тыс. руб.

Для нормальной работы водной сети на ней необходимо установить арматуру.

Водоразборная арматура, включает в себя водоразборные колонки, пожарные гидранты, поливочные краны, предназначена для раздачи воды непосредственно из наружной водопроводной сети.

Предохранительная арматура служит для защиты водопроводной сети от неблагоприятных факторов.

Для поселка принято решение использовать запорную арматуру фирмы «Jafar» (Польша) – высококачественная долговечная арматура. Обладает всеми преимуществами лидеров арматуростроения: гарантия производителя – 10 лет, срок эксплуатации без ремонтов и замены запчастей – 30-50 лет, полная защита корпуса от коррозии эпоксидным покрытием изнутри и снаружи, возможность подземной установки в колодцах и без колодцев.

Для расчета стоимости арматуры принимаем 20% от стоимости труб, т.е:

$$49\,810 * 20\% = 9\,962\text{ тыс. руб.}$$

3.2.3 Затраты, связанные со строительством и эксплуатацией станции водоподготовки

Объем резервуаров чистой воды определяется из расчёта на часы наибольшего водопотребления. Но если коэффициент суточной неравномерности водопотребления неизвестен, то объём РЧВ из опыта эксплуатации может приниматься как 20-30% суточной производительности очистных сооружений природных вод.

В данном проекте объём РЧВ принимается равным

$$W_{\text{рчв}}=30\% \cdot Q_{\text{сут}} \quad (11)$$

$$W_{\text{рчв}}=0,3 \cdot 502=150 \text{ м}^3$$

Резервуаров чистой воды на очистных сооружениях принимается не менее двух, поэтому объём каждого резервуара будет равен

$$W_{\text{рчв}}=150/2=75 \text{ м}^3$$

В данном проекте принимаются 2 РЧВ с размерами: ширина – 5 м, длина – 5 м, высота – 3 м, емкостью 75 м³.

Выбираем готовое изделие – накопительную емкость Екатеринбургского завода полиэтиленовых изделий объемом 80 м³, стоимостью 960 000 рублей, рис. 35.



Рисунок 35– Накопительная емкость подземная

Затраты на РЧВ составят $960\ 000 * 2 = 1\ 920\ 000$ руб.

СМР по установке РЧВ составят 100 000 руб.

Для удаления из очищаемой воды твердых загрязнений, песка, тонкодисперсных примесей устанавливаем дисковые фильтры Jimten DFP-2 Long рис. 36. Фильтрующим элементом устройства является пакет дисков из полимерных материалов. На поверхности каждого диска, с двух сторон, выполнены канавки определённой глубины и ширины.

Дисковая система фильтрации - одна из самых универсальных и эффективных систем очистки воды. Универсальность обусловлена большой модульной емкостью компонентов, что позволяет использовать его для любых типов воды, а эффективность обусловлена высококачественными материалами и технологичным производством.

Степень фильтрации можно варьировать, заменяя фильтрующие диски.



Рисунок 36 - Дисковый фильтр Jimten DFP-2 Long

Производительность фильтра 28 м³/час. Устанавливаем 2 рабочих и 1 резервный.

Затраты составляют $17\ 000 * 3 = 51\ 000$ тыс. руб.

Аэрация воды — один из самых важных этапов по предварительной водоподготовке, применяемый до процесса фильтрации воды. Аэрация воды представляет собой естественный или искусственный процесс обогащения воды кислородом воздуха.

Станции аэрации воды позволяют полностью исключить использование реагентов, что более безопасно в химическом отношении, позволяет отказаться от реагентного хозяйства и связанных с ним эксплуатационных затрат (а также работ с токсичными веществами). Такие системы отличаются высокой надежностью и эксплуатационной автономностью.

Кроме того, идеально подходят для удаления радиоактивных веществ.

Принцип работы аэрационного комплекса заключается в том, что воздух попадает в напорную водопроводную магистраль либо при помощи эжектора навоздушивания (аэрационный эжектор), либо при помощи аэрационного компрессора (компрессор для аэрации воды). Насыщенная водовоздушная смесь поступает в колонну и вводится внутрь неё через оголовок (оголовок аэрационной колонны) по подающей трубе, доходящей примерно до её середины. В толще водяной слой за счёт барботирования воды всплывающими пузырьками воздуха происходит интенсивное окисление примесей. Помимо окислительных реакций в аэрационной колонне происходит удаление из воды лишнего воздуха и растворённых газов, зачастую обуславливающих органолептические свойства воды (привкус и запах).

Для рассматриваемого поселка выбираем аэрационный комплект на базе танка 16×65 рис. 37 с производительность 5 м³/ч. Принимаем 4 рабочих и 1 резервный комплект.



Рисунок 37 - Аэрационный комплект на базе танка 16×65

Стоимость 1 установки 86 240 руб [67]. Стоимость комплекта составляет
 $86\,240 * 5 = 431\,200$ руб.

В качестве фильтра тонкой очистки выбран магистральный фильтр Аруан 20 рис. 38. Универсальные микронные фильтры серии Аруан 20 изготавливаются ООО «ТЕХНОИНТЕЛЛЕКТ» в соответствии с ТУ 28.29.12–001–46422999–2017 и предназначены для очистки жидкостей от загрязнений, как в быту, так и в самом широком спектре народного хозяйства: фильтрация воды в системах горячего и холодного водоснабжения промышленного и индивидуального пользования. Применим для многоквартирных домов, дач, коттеджей, детских домов, школ, детских садов, предприятиях, производств, пищевой отрасли и др.



Рисунок 38 - Промышленная ультратонкая очистка воды Аруан 20 - 20-30 м3/час Ду 50мм

Фильтр не требует замены, так как применяется принцип микронной технологии, что позволяет не менять картридж долгое время. Фильтрующий элемент Аруан не имеет глубоких пор, загрязнения не могут застрять между струн, так как струна вибрирует за счет потока воды и сбрасывает загрязнения в дренаж. Промывка регенерирует фильтр и сбрасывает накопленные загрязнения в колбе. Сброс загрязнений может быть ручным или автоматическим. Степени фильтрации воды при помощи фильтра ультратонкой очистки обеспечивается глубокое фильтрование (до 1 микрона).

Бактерицидная очистка — в фильтрах «Аруан» используется гальваническая технология покрытия серебром фильтрующего элемента. Известно, что вода, насыщенная ионами серебра, угнетает патогенные бактерии и возбудители инфекционных заболеваний. Это позволяет обеззараживать фильтрующий элемент, а также не давать размножаться бактериям внутри фильтра и покрывать фильтрующий элемент органической пленкой.

Производительность фильтра 20-30 м³/ч, принимаем 1 рабочий, 1 резервный. Стоимость 1 фильтра 50 000 руб, стоимость комплекта 50 000 * 2 = 100 000 руб.

Согласно [57, п.п. 9.113] на подземных водозаборах производительностью более 50 м³/сут следует предусматривать системы (мероприятия) обеззараживания воды вне зависимости от соответствия исходной воды гигиеническим нормам. Как правило ввод реагентов (хлора) должен осуществляться перед контактными резервуаром. Но в случаях, когда за время транспортировки питьевой воды до первого потребителя не обеспечивается ее необходимый контакт с реагентом, допускается, по согласованию с территориальными органами ГСЭН, предусматривать точки ввода в водоводы 2-го подъёма.

Применение сильных окислителей для обработки воды позволяет снизить её окисляемость, удалить вредные органические примеси и бактериологические загрязнения. Метод пригоден для санации водопроводной сети, после РЧВ.

Для данных очистных сооружений выбираем метод обеззараживания с помощью введения гипохлорита натрия NaOCl, точка ввода – в РЧВ.

Принимаем комплексное инженерно-техническое решение электролизную установку ЭГР –0050 «Сиваш». Установка вырабатывает гипохлорит натрия на месте из доступного сырья. Для получения гипохлорита натрия, на электролизных установках «Сиваш», требуется пищевая соль, вода и электричество, рис. 39.



Рисунок 39 – Схема работы электролизной установки ECOFLOW для получения гипохлорита натрия

Поэтому процесс получения гипохлорита натрия на данных установках экологически безопасен, экономически выгоден и удобен. [66]

Установки по обеззараживанию воды гипохлоритом натрия производятся блочно и состоят из электролизного блока и блока питания и управления. В комплект поставки также входят насосы-дозаторы гипохлорита натрия, емкости мокрого хранения соли и гипохлорита натрия.

Электролизный гипохлорит натрия, вырабатываемый из поваренной соли на месте потребления установками обеззараживания «Сиваш», является альтернативой жидкому хлору. Гипохлорит натрия по своей эффективности аналогичен жидкому хлору, но при этом его использование позволяет ликвидировать высокотоксичное хлорное хозяйство, обеспечить экологическую и технологическую безопасность обеззараживания воды, исключить риски, связанные с применением жидкого хлора.

Себестоимость обеззараживания 1 м³ воды согласно расчета производителя составляет - 0,019 у.е. Затраты на весь период эксплуатации составят 2 000 000 руб.

После очистных сооружений вода поступает в резервуары чистой воды, откуда забирается насосами насосной станции 2-го подъема и подается в водоводы и водопроводную сеть. Высота всасывания насоса определяется от уровня дна резервуара чистой воды. При высотном проектировании насосной станции сначала устанавливается высота расположения осей насосов, а затем от них — расположение пола машинного зала.

В зависимости от высотного расположения резервуаров чистой воды насосные станции 2-го подъема устраивают незаглубленными (пол машинного зала находится на уровне земли) или полузаглубленными (пол машинного зала на 2—3 м ниже поверхности земли). При определении заглубления пола станции высота всасывания не должна превышать величины, допустимые для принятого типа насосов. В полузаглубленных станциях пол располагается ниже поверхности земли, в этом случае обеспечивается работа насосов «под заливом».

Достоинства незаглубленных насосных станций — меньшая строительная стоимость и лучшие условия эксплуатации, заглубленных станций — большая надежность работы насосов. Незаглубленные насосные станции проще, но в них не всегда обеспечивается допустимая высота всасывания насосов.

В заглубленных насосных станциях должны быть предусмотрены выпуски в канализационную сеть с соответствующими предохранительными устройствами во избежание обратного поступления воды. При хозяйственно-питьевом водоснабжении насосные станции 2-го подъема обычно размещают вблизи очистных сооружений, а воду забирают из резервуаров чистой воды. Все это обуславливает более простые по сравнению с насосными станциями 1-го подъема планировочные и конструктивные решения и меньшую стоимость станций 2-го подъема.

Насосные станции 2-го подъема забирают воду из резервуаров чистой воды и подают ее в сеть, поэтому в некоторых случаях их встраивают в здание станции очистки воды. Станция представляет собой готовое к эксплуатации изделие с установленным на раме комплектным оборудованием.

Выбрана насосная станция производительностью 50 м³/час с одним насосом - ИСТОК-НС-50 м³/ч-4 атм-С-1-[IR40-200NA]-О рис. 40, стоимостью 172 670 руб. [68]

Для размещения станции водоподготовки необходимо помещение для оборудования. Стоимость объекта капитального строительства определено экспертным путем и составляет 5 000 000 руб.

В соответствии с [33, п.п 4.1] за качеством питьевой воды должен осуществляться государственный санитарно – эпидемиологический надзор и производственный контроль. Количество и периодичность проб воды для подземных источников в местах водозабора, отбираемых для лабораторных исследований, устанавливается с учетом требований указанных в [33, п.п4.3].



Рисунок 40 – Насосная станция 2- го подъёма ИСТОК-НС-50 м³/ч-4 атм-С-1-[IR40-200NA]-О

Для поселка, виды определяемых показателей и количество исследуемых проб питьевой воды перед ее поступлением в распределительную сеть устанавливаются с учетом требований, указанных в таблице 7 [33, п.п 7.7].

Так как численность населения, обеспечиваемого водой из данной системы водоснабжения 1,6 тыс. населения то количество проб, составит таблица 27.

Стоимость анализов воды за 1 год составит 157 100 руб, соответственно за 25 лет (принимаемый срок службы оборудования) – 3 927 500 руб.

Кроме того, необходимо постоянно контролировать показатели, связанные с технологией водоподготовки – остаточный хлор. Для этого будет использоваться специальное оборудование - анализатор гипохлорита натрия в воде «АГХ-3», стоимостью 30 000 руб., рис. 41.

Реализованная в анализаторе «АГХ-3» методика определения концентраций гипохлорита натрия в воде не требует расходных материалов (реактивов). Эксплуатация предлагаемого анализатора возможна в условиях химических лабораторий и производственных помещений. Подключение

Таблица 27 – Количество проб в течении 1 года

Виды показателей	Количество проб в течении одного года, не менее	Цена, 1 анализа руб.	Стоимость в год, руб.
Микробиологические	50 (еженедельно)	1 500	75 000
Паразитологические	Не проводятся		0
Органолептические	50 (еженедельно)	1 200	60 000
Обобщенные показатели	4 (1 раз в сезон года)	3 000	12 000
Неорганические и органические вещества	1	5 000	5 000
Показатели связанные с технологией водоподготовки, остаточный хлор	8760		2 400

Виды показателей	Количество проб в течении одного года, не менее	Цена, 1 анализа руб.	Стоимость в год, руб.
Радиологические	1	2 700	2 700
Итого			157 100



Рисунок 41 - Анализатор гипохлорита натрия в воде «АГХ-3»

анализатора «АГХ-3» - стационарное, к магистрали с избыточным давлением анализируемой среды отбор пробы осуществляется через штатный гидрозатвор, устанавливаемый на входе анализатора. Интервал времени выполнения цикла последовательных операций при анализе пробы может составлять от 5 до 15 минут.

Результаты измерений выводятся в цифровом (RS-485) и аналоговом виде (нормированный сигнал 4-20 (0-20) мА). Также результаты могут быть представлены на приборном дисплее, самописце, принтере, компьютере. Предусмотрена световая индикация (НОРМА, ПРЕДЕЛ, ТРЕВОГА), в зависимости от нахождения результатов измерений внутри или вне заданного диапазона нормальных значений. При превышении задаваемого порога срабатывает РЕЛЕ прибора.

Данный анализатор успешно используется в качестве оперативного технологического контроля в составе автоматических систем обеззараживания воды. Принимаем 2 анализатора.

Затраты на анализатор на весь срок службы составят:

$$60\ 000 / 25 = 2\ 400 \text{ руб.}$$

Для обслуживания инфраструктуры водоочистки используем фирму на аутсорсинге. Ежемесячные плата за услуги составит 20 000 руб.

Для стабильной работы оборудования необходимо обеспечить бесперебойную подачу электроэнергии. Рассчитаем необходимое количество потребляемой электроэнергии, табл. 28.

Таблица 28 – Количество требуемой электроэнергии, кВт/ч

Наименование	кВт/ч
Аэрационный комплект на базе танка 16×65	2
Электролизная гипохлоритная установка «Сиваш»	0,1
Анализатор гипохлорита натрия в воде «АГХ-3»	0,1
ИСТОК-НС-50 м3/ч-4 атм-С-1-[IR40-200NA]-О	5,5
НАСОС GRUNDFOS SP 60-6	11
Прочее	0,3
Итого	19

Количество электроэнергии на год составит – 166 440 кВт/год (19кВт/ч *24 часа*365 суток).

На весь расчетный период количество требуемой электроэнергии составит 4 161 000 кВт/ч (166 440 кВт/год * 25 лет).

Цена на электроэнергию составляет 2,35 руб/кВт/ч (тариф-потребители, приравненные к сельскому населению с 01.01.2021 по 30.06.2021).

Затраты на электроэнергию на весь период эксплуатации составят 9 778 350 руб (4 161 000 кВт/ч*2,35 руб/кВт/ч).

3.2.4 Общие затраты на строительство и эксплуатацию централизованной системы водоснабжения проектируемого поселка

Для оценки общей стоимости затрат на организацию централизованного водоснабжения поселка представлены в табл. 29.

Таблица 29 – Общие затраты на ОСВ поселка

№	Комплектующие	Стоимость
		руб.
1	Бурение скважин	162 000
2	Насосы для 1 - го подъема	645 442
3	Трубы, арматура для монтажа наружных водопроводных сетей	59 772 000
4	Фильтр механической очистки	51 000
5	Аэрационный комплект	431 200
6	Фильтры тонкой очистки	100 000
7	Санация водопроводной сети	2 000 000
8	Насосная станция 2-го подъема	172 670
9	Здание для размещения водоочистки	5 000 000
10	Анализ воды	3 927 500
11	РЧВ	2 112 000
12	Аутсорсинг	6 000 000
13	Электроэнергия	9 778 350
	Итого	90 152 162

Расход воды на 25 лет равен $329 * 365 * 25 = 3\,002\,695$ м³

Таким образом стоимость 1 м³ очищенной воды составит – 30,02 руб.:

90 152 162 /3 002 695 = 30,02 руб./м³

Вывод:

Обеспечение потребностей населения в воде является одной из ключевых задач жилищно-коммунального хозяйства. Несмотря на развитие частного инжиниринга, магистральные сети по-прежнему остаются если не единственным, то ключевым источником воды. На сегодняшний день централизованное водоснабжение – это сложный инфраструктурный комплекс трубопроводов, а также заборных и распределительных станций. При этом каждый функциональный узел совершенствуется из года в год, обретая все новые технико-эксплуатационные возможности.

Для рассматриваемого объекта подобран комплекс очистных сооружений, который работает в автономном режиме, и его обслуживание производится аутсерфинговой компанией.

Стоимость 1 м³ составила – 30,02 рубля.

3.4 Сравнение методов водоподготовки

Организация водоснабжения загородного дома – одна из основных задач, которая ставится перед владельцем в момент ввода в эксплуатацию объекта. Для одних выход – бурение артезианской скважины, для других – организация центрального водоснабжения.

Даже если есть возможность подсоединить дачный водопровод к централизованной системе водоснабжения, не всегда подобное решение будет оптимальным. Нередко владельцами загородных домов в качестве источника водоснабжения выбираются скважина или колодец, чтобы не зависеть от компании, в ведении которой находится централизованный водопровод.

Рассмотрим преимущества и недостатки каждого из методов.

Преимущества централизованной системы водоснабжения заключаются в следующем: жители домов, подключенных к сетям водоснабжения, освобождены от обслуживания водопровода – профилактических и ремонтных работ, наладки и настройки, закупки и замены оборудования. Не нужны капитальные вложения в обустройство собственного источника воды и в приобретение насосных установок, которые так же предстоит обслуживать.

К недостаткам этой системы относят: за пользование водой из общих магистральных сетей приходится платить. И с каждым годом суммы в счетах за воду растут далеко не в арифметической прогрессии. На время проведения профилактики оборудования управляющая компания прекращает подачу воды потребителям. Кроме всего прочего, при подключении домов к старым изношенным магистралям возможны внеплановые остановки системы водоснабжения из-за прорыва труб и аварийной поломки оборудования.

Локальные системы водоотведения имеют следующие преимущества: плановые отключения системы водоснабжения теперь зависят только от владельца дома. Аварийные ситуации при надлежащем сервисном обслуживании практически исключены. Качество воды значительно выше. Наконец, платить за пользование водой не нужно. Учитывая, что расход воды на загородном участке при наличии сада, огорода и бани с бассейном значителен, финансовая выгода становится очевидной.

Основными недостатками ЛОС являются: обустройство автономной системы водоснабжения загородного дома требует значительных капитальных вложений уже на начальном этапе. Необходимо обустроить источник воды – скважину или колодец, закупить и смонтировать оборудование. Обслуживание всей водопроводной системы, начиная от источника воды и заканчивая точками водоразбора, владелец берет на себя.

Каждая из выше обозначенных систем имеет свои достоинства и недостатки. Для окончательного выбора системы водоснабжения необходимо сравнить полученные результаты. Основными критериями для сравнений является стоимость м^3 воды.

Стоимость 1 м^3 очищенной воды при ЛОС составила – 125,43 руб., в то время как использование ОСВ на поселок позволит сократить эту стоимость до 30,042 рублей, что ниже 4 раза.

Таким образом, экономический анализ показал, что предпочтительнее использование централизованного водоснабжения.

Заключение

В выпускной квалификационной работе был проведен технико – экономический анализ очистки воды хозяйственно – питьевого назначения от радиоактивных загрязнений (радона) на примере коттеджного поселка «Терема» Кременкульского сельского поселения.

Был выполнен анализ существующих радиоактивных загрязнений подземных источников водоснабжения. Рассмотрены существующие методы очистки воды от радиоактивных загрязнений.

На основании технико – экономическое сравнения затрат на 1 м³ очищенной воды, для индивидуальной системы очистки и централизованных очистных сооружений поселка, определено, что стоимость 1 м³ воды при использовании локальной очистки отдельного дома составляет – 125,43 руб., в то время как использование централизованного водоснабжения на поселок позволит сократить эту стоимость до 30,02 рублей, что ниже в 4 раза, и что безусловно является предпочтительнее.

Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к решению проблем удаления из воды радиоактивных загрязнений, изучении возможных видов радиоактивных загрязнений, встречающихся в природных водах, изучении требований нормативных документов, регулирующих степень и качество очистки воды хозяйственно – питьевого назначения, сравнении методов удаления радиоактивных загрязнений, проведении технико – экономического анализа затрат на очистку.

Практическая значимость работы заключается в решении вопроса очистки подземных вод от радона для коттеджного поселка «Терема», сравнении вариантов локальных и централизованных очистных сооружений, определении наиболее экономически эффективной системы для конкретного поселка.

Результаты проведенной работы опубликованы:

1. О.А. Самодолова, А.П. Самодолов, Е.В. Николаенко. Очистка природной воды от радона // Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов: Вестник Южно – Уральского государственного университета. Серия Строительство и архитектура. Том 20. – Челябинск: НИУ, 2020. – 82 с. (ВАК)

2. О.А. Самодолова, А.П. Самодолов, Е.В. Николаенко. Анализ методов удаления радона из подземных вод // Водоснабжение, водоотведение и системы защиты окружающей среды: IX Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Статьи и тезисы / Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа: ЦИТО+, 2020. – 260 с.

Библиографический список

1. Беркман, И.Н. Курс лекций «Радон: враг, врач и помощник». <http://profbeckman.narod.ru/MED10.htm>.
2. Левин, М.Н. Радон. Учебное пособие / М.Н. Левин, О.П. Негроров, В.Р. Гитлин, О.В. Селиванова., О.А. Иванова. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2008.
3. Drinking Water Treatment Wastes. Stanford University Library homepage. <https://swap.stanford.edu/20110205094222/http://www.epa.gov/radiation/tenorm/drinking-water.html>
4. Радиоактивность поверхностных и подземных вод континентов / Радиоактивность природных вод. https://vuzlit.ru/710436/radioaktivnost_poverhnostnyh_podzemnyh_kontinentov
5. Как обнаружить радиоактивный радон и уменьшить угрозу здоровью? <https://mydozimetr.ru/blog/stati/kak-obnaruzhit-radon-i-umenshit-ugrozu-zdorovyu/>
6. Высоцкий, С.П. Риски воздействия радона на организм человека [Текст] / Высоцкий, С.П. Левченко, Л.Г. Ленский, В.Г. // Вести Автомобильно-дорожного института – 2017. - №1 (20) <http://ea.donntu.org/handle/123456789/31905>
7. Левин, Е.В. Водоснабжение населённых пунктов из подземных источников, загрязнённых радиоактивным газом радоном-222 [Текст] / Е.В. Левин, Р.Ф. Сагитов, В.Д. Баширов, В.В. Демидочкин, С.В. Василевская, Е.В. Волошин. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. Биологические науки. – 2017. - №1. - С. 174-177.
8. Куркатов, С.В. Гигиеническая оценка природной радиоактивности подземных вод Красноярского края [Текст] / С.В. Куркатов, С.Е. Скурданов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2007. - №10. - С. 5–8.
9. Ненахова, Е.В. Гигиеническая оценка радиационной обстановки на территории Прибайкалья [Текст] / Е.В. Ненахова, Б.П. Черняго, О.А.

- Макаров, В.В. Синицкий, Э.А. Минаев // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2006. - №6(52). - С.189–190.
10. Романова, А.А. Радон в системе централизованного водоснабжения [Текст] / А.А. Романова, Г.В. Игнатъев // Вестник ЧитГУ. – 2011. - №9(76). - С. 119–122.
 11. Стефаненко, И.В. Меры по обеспечению защиты населения и работников от негативного влияния природных радионуклидов при строительстве зданий и сооружений [Текст] / И.В. Стефаненко // Вестник ВолгГАСУ. – 2010. - №18(37). - С. 153–157.
 12. Крисюк, Э.М. Основные виды облучения людей [Текст] / Э.М. Крисюк // Анри. – 1999. - № 2(17). - С. 4-9.
 13. Онищенко, Г.Г. Основные итоги деятельности государственной санитарно-эпидемиологической службы по ограничению облучения населения РФ от природных источников ионизирующего излучения, нерешенные проблемы и задачи на предстоящий период [Текст] / Г.Г. Онищенко, С.И. Иванов // Актуальные проблемы ограничения облучения населения от природных источников ионизирующего излучения “Радон-2000”, 2000. С. 341.
 14. WHO Handbook on Indoor Radon. A Public Health Perspective. Geneva: World Health Organization; 2009.
 15. Мархоцкий, Я.Л. Безопасность жизнедеятельности человека. Учебное пособие / Я.Л. Мархоцкий. – Минск: Высшая школа, 2018. – 416 с.
 16. Журавлев, В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ. М.: Энергоатомиздат, 1982. 128 с.
 17. Булдаков, Л.А. Радиоактивные вещества и человек. М.: Энергоатомиздат, 1990. 160 с.
 18. Макаров, О.А. Радон и здоровье населения. Новосибирск: Наука, 2000. 151 с.
 19. Albering H.J. Survey of ^{222}Rn concentrations in dwellings and soils in the Dutch Belgian border region // Health Phys., 1996. Vol. 70. P. 64–69.

20. Chaudhry M.A., Jiang Q., Ricanati M., Horng M.F. Characterization of multilocus lesions in human cells exposed to X radiation and radon // *Radiat. Res.*, 1996. Vol. 145, N 1. P. 31–38.
21. Ненахова, Е.В. Взаимосвязь между содержанием радона в окружающей среде и заболеваемостью населения [Текст] / Е.В. Ненахова, Б.П. Черняго, О.А. Макаров, В.В. Сеницкий // *Бюллетень ВШЦ СО РАМН.* – 2006. - №6(52). - С. 186–188.
22. Ненахова, Е.В. Гигиеническая оценка опасности радона в жилых помещениях на территории Прибайкалья [Текст] / Е.В. Ненахова, Б.П. Черняго, О.А. Макаров, В.В. Сеницкий // *Бюллетень ВШЦ СО РАМН.* – 2006. - №6(52). - С. 191–193.
23. Горский, Г.А. Неослабленный контроль [Текст] / Г.А. Горский // *Экология и жизнь.* – 2011. - №7(116). - С. 88–89.
24. Хрипунов, Ю.И. Берегись радиации [Текст] / Ю.И. Хрипунов // *Жизнь и безопасность.* – 1997. - №1. - С. 301–303.
25. Viktor Jobbágy. A brief overview on radon measurements in drinking water. Viktor Jobbágya, Timotheos Altzitzogloua, Petya Maloa, Vesa Tannerb, Mikael Hulta. *Journal of Environmental Radioactivity.* – 2017. Volume 173. - Pages 18-24.
26. СанПиН 2.1.4.1074-01 *Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.*
27. СП 2.6.1.1292-2003 «Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения»
28. СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)"
29. СП 2.6.1.758-99 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99)»
30. Методические указания МУ 2.6.1.715-98. «Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Проведение радиационно-гигиенических обследований жилых и общественных зданий»

31. 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.
32. Федеральный закон "О радиационной безопасности населения" от 09.01.1996 N 3-ФЗ
33. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения». № 63-ФЗ, 31 марта 1999 г. // Российская газета. 1999. 6 апреля
34. Пындак, В.И. Оценка безопасности радонового индикаторного метода для исследований нефтегазовых скважин [Текст] / В.И. Пындак // Безопасность труда в промышленности. – 2005. - №5. - С. 44–46.
35. Рыжакова, Н.К. Методы и результаты измерения эффективного коэффициента диффузии радона в почвогрунтах скважин [Текст] / Н.К. Рыжакова, А.П. Шестак. // Геоэкология: Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2009. - №6. - С. 555–563.
36. I. Lopes. Comparison of radon (Rn-222) concentration in Portugal and Finland underground waters. / I. Lopes, P. Vesterbacka & K. Kelleher // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2017. 311, pages1867–1873. <https://www.sciencedirect.com>
37. Vikas Duggal. Risk assessment of radon in drinking water in Khetri Copper Belt of Rajasthan, India. / Vikas Duggala, Samriti Sharmab, Rohit Mehrac. // Chemosphere. – January 2020. - Volume 239. <https://www.sciencedirect.com>
38. Wanyu Tan. Distribution of radon and risk assessment of its radiation dose in groundwater drinking for village people nearby the W-polymetallic metallogenic district at Dongpo in southern Hunan province, China. / Wanyu Tana, Yongmei Lia, Kaixuan Tanab, Yanshi Xiea, Shili Hana, Peng Wanga. // Applied Radiation and Isotopes. – September 2019. – Volume 151. - Pages 39-45.
39. Булдаков, Л.А. Проблемы распределения и экспериментальной оценки допустимых уровней ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{106}Ru . М.: Атомиздат, 1968. 296 с.
40. Микляев, П.С. Исследования эманирования глинистых пород по радону [Текст] / П.С. Микляев, Т.Б. Петрова // Геоэкология: Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2010. - №1. - С. 13–22.

41. Как обнаружить радиоактивный радон и уменьшить угрозу здоровью?
<https://mydozimetr.ru/blog/stati/kak-obnaruzhit-radon-i-umenshit-ugrozu-zdorovyu/>
42. Радиационный контроль питьевой воды. В чем он заключается?
https://chel.aif.ru/health/radiacionnyu_kontrol_pitevoy_vody_v_chem_on_zaklyuchetsya
43. Ertugrul Esmeray. Comparison Of Natural Radioactivity Removal Methods For Drinking Water Supplies: A Review / Ertugrul Esmeray, Mehmet Emin Aydin. // Journal of International Environmental Application & Science.- April 2008. – Volume 3 (3) – Pages 142-146.
44. Семенищев, В.С. Радон в подземных питьевых водах Свердловской области: определение активностей и методы удаления / В.С. Семенищев, Н.Д. Бетенеков, А.Ф. Никифоров, С.В. Глазырин, Л.А. Томашова // ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина». – 2017.
45. Parimal Chandra Bhomick. Biomass-derived activated carbon for removal of ^{222}Rn from air. / Parimal Chandra, Bhomicka Supongtoshi, Jamira Upasana, Bora Sinha, B.K.Sahoob, Dipak Sinha. December 2019. Volume 14.
<https://www.sciencedirect.com>
46. Сорбционные характеристики цеолита и активированного угля.
<http://www.dpzzz.com/ru/info/1/15.html>
47. I. Bikita. Radon adsorption by zeolite. / I.Bikita, D.Mrdja, K.Bikita, S.Grujicb, D.Knezevica, S.Forkapica, U.Kozmidis-Luburic // Radiation Measurements. January 2015. Volume 72. Pages 70-74
48. «Радон на кухне: вредно или нет?» <https://www.quarta-rad.ru/useful/vse-o-radiacii/radon-na-kuhne/>
49. Водоснабжение населённых пунктов земных источников загрязнённых радиоактивным газом радоном-222 Известия Оренбургского государственного аграрного университета, №1, 2017 г.
50. F. Bekdash, et al. Technologies and costs for the removal of radon from drinking water. Science Applications International Corporation. McLean, VA: Science Applications International Corporation Publish, 1999. – 158 p

51. Система очистки воды от радона Waterman.AF.
<http://water2you.ru/solutions/dlya-chastnykh-domov/#radon>
52. Li Liu. Activated carbon/attapulgite composites for radon adsorption / Li Liua, Xiangyuan Denga, Yun Liaob, Detao Xiaoa, Meng Wang. // Materials Letters. 15 February 2021. Volume 285. <https://www.sciencedirect.com>
53. Пат. RU 2 601 737 C1 Российская Федерация. Способ удаления радона из воздуха помещения [Текст] / Андреев А.И., Цицарева М.Б.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Дальневосточный государственный университет путей сообщения" (ДВГУПС). - № 2015126581/07; заявл. 2015.07.02; опубл. 2016.11.10.
https://yandex.ru/patents/doc/RU2601737C1_20161110
54. Колесников, Д. Электростатический фильтр, как устройство для очистки воздуха от продуктов распада радона в жилых и бытовых помещениях / Д. Колесников, И. Кравченко // 2016. http://chem.by/r/elstat_rn_filter_1.html
55. Постановление Администрации Сосновского муниципального района Челябинской области от 11.09.2015 № 2736 «О подготовке документации по планировке территории, расположенной в 270 м от ориентира по направлению на северо-запад от пос. Терема (кадастровый номер 74:19:1201001:6)» проекта планировки и межевания территории (50 земельных участков)
56. «Всероссийской переписи населения 2010» (том 6 «Число и состав домохозяйств»)
57. СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения»
58. СП 30.13330.2016 «Внутренний водопровод и канализация зданий»
59. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 30.04.2021) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
60. Постановления Правительства Российской Федерации от 19 августа 2014 года № 825 «О присвоении наименования географическому объекту в Челябинской области и о внесении изменения в постановление Правительства Российской Федерации от 28 апреля 2014 г. № 379».
61. Научно-прикладной справочник по климату, выпуск 09.

62. СП 131.13330.2012 «Строительная климатология».
63. <https://gnb-land.ru/service/>
64. <https://chelyabinsk.teploprofi.com/catalogue/show/grundfos-sp-60-6-1199/>
65. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
66. <https://гпхн.рф>
67. https://chelyabinsk.russfilter.ru/catalog/aeracionnye_komplekty/pentair_16-65
https://rusvodsnab.ru/catalog/nasosnye_stantsii_na_baze_odnogo_nasosa
69. Шевелев, Ф.А. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб / Ф.А. Шевелев, А.Ф. Шевелев // Справочное пособие – 6-е издание, доп. и перер. М Стройиздат, 1984 . – 116 с.