

Региональные особенности использования подземных вод как потенциального источника формирования радиационного фактора

Э.П. Лисаченко, Н.А. Королева

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Подземные воды являются одним из источников водоснабжения и важнейшим полезным ископаемым. Обогащение природных подземных вод изотопами радия — геохимическая закономерность, а их использование считается признанным источником дополнительного облучения населения и окружающей среды. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории Российской Федерации составляют 869 055 тыс.м³/сут. На 01.01.2015 г. разведано 15 054 месторождения (участка) подземных вод, из которых 10 556 находятся в эксплуатации. По федеральным округам объемы добычи и извлечения подземных вод различаются во много раз. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении в 35 субъектах Российской Федерации составляет от 70 до 100%; более чем в 30 областях она превышает 90%. Целиком за счет подземных вод осуществляет водоснабжение целый ряд крупных городов. Подземные воды в зависимости от области применения подразделяются на питьевые, технические, теплоэнергетические, промышленные и лечебные. Формирование многочисленных участков с повышенным содержанием природных радионуклидов для всех видов подземных вод в большой степени определяется объемом их использования. Организованному использованию подземных вод предшествует специальная водоподготовка, где возможно формирование доз облучения работающих выше допустимых уровней, установленных в НРБ-99/2009, и образование массы отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов. Во многих регионах страны существует перспектива постоянного увеличения объемов использования всех видов подземных вод и создания новых предприятий, что потребует контроля и радиационно-гигиенической оценки. Особого внимания требует использование попутных вод нефтегазовых месторождений, обладающих самым высоким содержанием природных радионуклидов среди подземных вод, как перспективного источника минерального сырья.

Ключевые слова: природные радионуклиды, подземные воды, региональные особенности, перспективы использования, радиационный фактор.

Введение

В настоящее время использование подземных вод является признанным источником дополнительного облучения населения и окружающей среды за счет содержания в них природных радионуклидов [1–3].

Обогащение подземных вод природными радионуклидами является геохимической закономерностью. Вместе с подземными водами в сферу хозяйственной деятельности и окружающую среду поступает поток природных радионуклидов (²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²²⁸Ra, ²¹⁰Pb, ²²²Rn), величина которого пропорциональна объему используемых вод [4, 5].

В зависимости от области применения подземные воды подразделяются на питьевые, технические, теплоэнергетические, промышленные и лечебные.

Общим для всех видов использования подземных вод является неизбежное накопление радионуклидов на элементах фильтрующих систем водоподготовки, их осаждение на внутренних поверхностях оборудования, поступление радионуклидов в воздух рабочей зоны, окружающую среду и формирование производственных отходов, зачастую с повышенным содержанием природных радионуклидов (до уровней десятков кБк/кг) [6]. Радиационная значимость этих процессов зависит не только от содер-

Лисаченко Эльвира Павловна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com

жания радионуклидов в воде, длительности работы и технологических особенностей всей системы; в большей степени она определяется величиной использованного водного потока. Даже при содержании радионуклидов, допустимом для питьевой воды, использование больших водных потоков может приводить к формированию нежелательного радиационного фактора [3].

ОСПОРБ 99/2010 (п. 5.2.6.) предписывают проведение радиационного контроля на действующих предприятиях, «добывающих и перерабатывающих минеральное и органическое сырье и подземные воды, в результате деятельности которых образуются производственные отходы с $A_{эфф}$ более 1500 Бк/кг». В Методических указаниях МУ 2.6.1.2719-10 «Радиационный контроль и гигиеническая оценка источников питьевого водоснабжения и питьевой воды по показателям радиационной безопасности. Оптимизация защитных мероприятий источников питьевого водоснабжения с повышенным содержанием радионуклидов» отмечается возможность высокого содержания природных радионуклидов в подземных водах (п. 4.3), необходимость радиационного контроля в местах размещения фильтров-очистителей (п. 7.2) и возможность образования отходов с повышенным содержанием природных радионуклидов (п. 6.3).

Подземные воды являются одним из источников водоснабжения и важнейшим полезным ископаемым. Пресные подземные воды, наряду с поверхностными водами, являются основой водного фонда России и служат главным образом для питьевых целей. Главным достоинством подземных вод для питьевого водоснабжения является относительно высокая степень их защищенности в условиях нарастающего ухудшения качества поверхностных вод. Подземные воды нередко являются единственным источником обеспечения населения питьевой водой, защищенным от загрязнения [7].

Общее распределение подземных вод

Ресурсная база пресных подземных вод для питьевого водоснабжения и обеспечения объектов промышленности характеризуется прогнозными запасами месторождений подземных вод, их добычей и использованием [8]. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории Российской Федерации, по данным государственного мониторинга состояния недр (ГМСН), составляют 869 055 тыс. м³/сут. На 01.01.2015 г. на территории РФ разведано 15 054 месторождения (участка) подземных вод, из которых 10 556 находятся в эксплуатации. Запасы представляют собой разведанную или изученную часть прогнозных ресурсов подземных вод территории. По состоянию на 01.01.2016 г. общие утвержденные запасы подземных вод составили 82,1 млн м³/сут, из которых 17% приходится на Московскую область (9,5 млн м³/сут) и Краснодарский край (4,4 млн м³/сут) [9].

Распределение прогнозных ресурсов подземных вод по территории РФ неравномерное: 77,2% от общей величины прогнозных ресурсов подземных вод сосредоточено в Северо-Западном, Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [9]. Объемы добычи и извлечения подземных вод по федеральным округам различаются в несколько раз [10] (рис. 1).

Подземные воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения эксплуатируются неравномерно. В 35 субъек-

тах РФ доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении составляет от 70 до 100%; в 12 субъектах доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении не превышает 10–20%. Наибольшим объемом использования подземных вод характеризуются Московская область, Краснодарский край, Республика Башкортостан, Воронежская область.

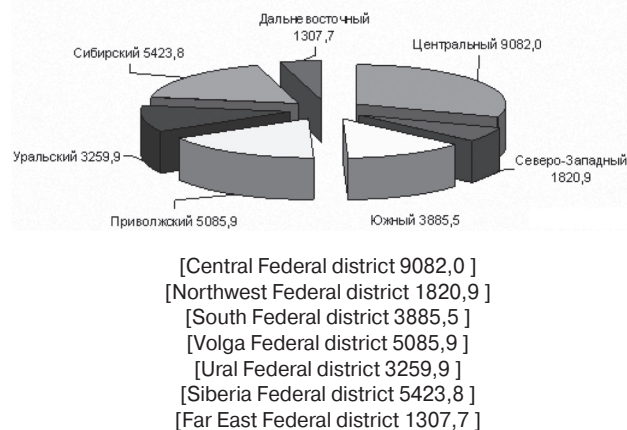


Рис. 1. Распределение объемов добычи и извлечения подземных вод в 2007 г. по федеральным округам, тыс. м³/сут (2007 г.) [10]

[Fig. 1. Distribution of the volume of extraction of groundwater in 2007 by Federal districts, thousand m³/day (2007) [10]

Доля подземных вод превышает 90% в хозяйственно-питьевом водоснабжении в Орловской, Смоленской, Тверской, Тульской, Белгородской, Воронежской, Курской, Липецкой, Тамбовской, Оренбургской, Томской и Читинской областях, в Краснодарском крае, в республиках Бурятия, Хакасия, Адыгея, Ингушетия, Кабардино-Балкария, Северная Осетия – Алания, Марий Эл, Мордовия, в Усть-Ордынском, Ачинском и Бурятском автономных округах. От 70 до 90% составляет доля подземных вод в Брянской, Владимирской, Калужской, Московской, Амурской и Камчатской областях, в республиках Башкортостан и Тыва, в Коми-Пермяцком, Ямало-Ненецком и Ханты-Мансийском автономном округах, в Еврейской автономной области [11, 12].

Практически целиком за счет подземных вод осуществляется водоснабжение городов Краснодар, Воронеж, Тамбов, Белгород, Липецк, Грозный, Курск, Сургут. Смешанные источники водоснабжения (поверхностные и подземные воды) используют Барнаул, Рязань, Калуга, Йошкар-Ола и др. Система водоснабжения крупных городов за счет подземных вод, как правило, включает в себя систему централизованного водоснабжения, а также большое количество автономных водозаборов, доля которых может достигать 20–30% [13].

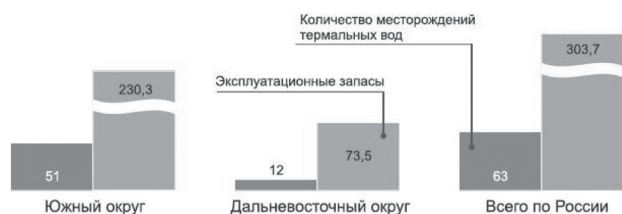
Организованному использованию подземных вод предшествует водоподготовка, которая удаляет из воды вредные примеси и проводит предварительную обработку воды для коммунальной сферы и различных отраслей производства. Материалы МАГАТЭ, ЕС и имеющиеся сведения по отечественным предприятиям свидетельствуют о возможности формирования доз облучения работающих на предприятиях водоподготовки, достигающих регламентированных уровней для персонала группы А [3, 14], в основном за счет радона. Существенным может оказаться внешнее облучение работающих от накопившихся осадков на элемен-

тах системы водоподготовки с повышенным содержанием природных радионуклидов. Масса образующихся отходов может быть весьма значительной при повышенном содержании радионуклидов. Коэффициент перехода ²²⁶Ra в производственные отходы при длительной работе предприятия водоподготовки может составлять ~ n·10⁴ [3]. Приведенные данные относятся не только к питьевым, но и ко всем другим видам использования подземных вод.

Термальные подземные воды

Теплоэнергетические (термальные) подземные воды могут использоваться для выработки тепла и электроэнергии, в качестве гидроминерального сырья для извлечения ценных химических элементов и их соединений, а также как минеральные воды бальнеологического направления. Масштабы добычи и использования геотермальной энергии в XXI в. должны обеспечить ее значимую роль в топливно-энергетическом балансе России [15].

По состоянию на 01.01.2007 г. в государственном балансе были учтены 63 месторождения термальных вод (рис. 2).



Южный округ [South Federal district]: ■ – 51; ■ – 230,3
 Дальневосточный округ [Far East South Federal district]: ■ – 12; ■ – эксплуатационные запасы 73,5
 [Operational supplies]
 Всего по России [Total in Russia]: ■ – количество месторождений термальных вод – 63
 [The number of deposits of thermal waters]; ■ – 303,7]

Рис. 2. Количество месторождений и эксплуатационных запасов термальных вод в федеральных округах России [8]
[Fig. 2. The number of deposits and operating reserves of thermal waters in the Federal districts of Russia [8]]

Прямое использование геотермальной энергии широко распространено на Курильских островах, Камчатке, Северном Кавказе, в Западной и Восточной Сибири, в рай-

оне озера Байкал. Наибольшими ресурсами геотермальной энергии обладает Республика Бурятия [16]. В настоящее время эксплуатируются ГеоЭС: Паужетская с 1966 г., Омега (о. Кунашир) с 1992 г., Верхнее-Мутновская с 1999 г., Менделеевская с 2001 г. (о. Кунашир), Мутновская с 2002 г., Океанская (о. Итуруп) с 2006 г. [17].

Запасами геотермальной энергии обладает значительная часть страны. Основные ресурсы термальных вод страны расположены на Северном Кавказе и Дальнем Востоке. Большие запасы подземного тепла имеются в Западной Сибири. Выявлены термальные ресурсы и в южных областях Восточной Сибири. В традиционных районах освоения геотермальных ресурсов (Северный Кавказ, Камчатский край) отмечены благоприятные предпосылки для дальнейшего развития геотермального производства. Намечается разработка региональных проектов ускоренного освоения геотермальных ресурсов. Среди них первоочередные проекты: Кавказские термальные воды; геотермальная энергетика Дальнего Востока; геотермальные ресурсы Западной Сибири [18]. К 2015–2020 гг. возможно доведение добычи термальных вод в стране до 130 млн м³/год (табл. 1).

Наибольшими потенциальными геотермальными ресурсами обладают Дальневосточный, Восточно-Сибирский, Западно-Сибирский и Северный регионы (табл. 2).

Таблица 2

Потенциальные геотермальные ресурсы территории России [15]

[Table 2

Potential geothermal resources of the territory of Russia [15]

Регионы России [Regions of Russia]	Потенциальные геотермальные ресурсы, трлн т условного топлива [Potential geothermal resources, trillion tons of equivalent fuel]
Северный [Northern]	132
Северо-Западный [Northwestern]	18
Центральный [Central]	35
Центрально-Черноземный [Central Black Earth]	19
Волго-Вятский [Volgo-Vyatsky]	12

Таблица 1

Перспективы использования геотермальных ресурсов в Российской Федерации на 2015–2020 гг., млн. м³/год [18]

[Table 1

Prospects of use of the geothermal resources in the Russian Federation in 2015–2020; mln m³/year [18]

Традиционные районы: [Traditional districts]		Новые районы [New districts]		
Северный Кавказ [North Caucasus]	Камчатский край [Kamchatka region]	Западная Сибирь [Western Siberia]	Восточная Сибирь [Eastern Siberia]	Дальний Восток [Far East]
51,9	40,0	20	7,8	9,5
Всего по РФ 129,2 млн м ³ /год [Total for Russia is 129.2 million m ³ / year]				

Окончание таблицы 2

Регионы России [Regions of Russia]	Потенциальные геотермальные ресурсы, трлн т условного топлива [Potential geothermal resources, trillion. tons of equivalent fuel]
Поволжский [Povolzhsky]	59
Северо-Кавказский [North-Caucasian]	45
Уральский [Urals]	64
Западно-Сибирский [West-Siberian]	258
Восточно-Сибирский [East Siberian]	364
Дальневосточный [Far East]	696
Итого по России [Total for Russia]	1702

Планируется использование глубинного тепла Земли в Камчатском и Краснодарском краях, Омской и Калининградской областях. Возможно создание локальных систем теплоснабжения в Вологодской, Ивановской, Костромской, Московской, Нижегородской, Новгородской, Тверской и Ярославской областях [15].

В качестве приоритетных геотермальных проектов предлагается: увеличение мощностей и модернизация имеющихся ГеоЭС на Камчатке и Курильских островах; сооружение систем электро- и теплоснабжения в Краснодарском крае (г. Лабинск, пос. Мостовской и Розовый), в Ставропольском крае и Калининградской области. Прогнозируется введение новых геотермальных и теплогенерирующих мощностей в Республике Дагестан и Чеченской Республике [17, 19]. Перспективными считаются Забайкалье и юг Восточной Сибири. На Северо-Западе России выделено 4 тепловых аномалии: Балтийская, Ленинградская, Московская, Тимано-Печорская. В Калининградской и Московской областях имеются благоприятные районы для строительства геотермальных циркулярных систем. В Тимано-Печорской провинции имеется перспективная Ухта-Ижемская тепловая аномалия [5, 20].

Термальные воды являются минеральным сырьем для получения ценных химических элементов: Cs, B, Sr, Ta, Mg, Ca, W; из них можно извлекать I, Br, V и др. [21, 22].

При использовании теплоэнергетических подземных вод основную радиационную проблему создают осадки на оборудовании. Производственные отходы, образующиеся при использовании геотермальных вод, как правило, характеризуются повышенным содержанием природных радионуклидов. Существенным может оказаться радоновыделение из отвалов и оборудования [2]. Кроме того, происходит накопление ^{226}Ra в сульфатных отложениях термальных источников. При растущем использовании термальных вод необходима достоверная информация для предупреждения об опасности их бесконтрольного использования [23].

Геотермальные установки могут эксплуатироваться гораздо дольше, чем нефтяные и газовые месторождения [24], поэтому проблемы обеспечения радиационной безопасности населения здесь со временем могут стать острее.

Промышленные подземные воды

К промышленным относят подземные воды и рассолы, способные обеспечить рентабельную добычу из них редких металлов и рассеянных элементов. В качестве промышленных могут служить термальные [22] и пластовые воды нефтегазовых месторождений [24].

Показана перспективность комплексной переработки высокотемпературных геотермальных рассолов Тарумовского геотермального месторождения (Северный Кавказ), которое позволит полностью обеспечить потребности России в карбонате лития и поваренной соли [25]. Предлагается извлечение минералов из геотермальных растворов на геотермальных месторождениях Камчатки [22].

На основе промышленно освоенных технологий имеется реальная возможность производства из пластовых вод I, Br, Li, Cs, B, Sr, Ta, солей Na, Ca, Mg и др. в необходимых масштабах [24]. В минерализованных подземных водах и рассолах на территории России и СНГ содержатся также огромные запасы редкометалльного сырья – свыше 55% общих запасов Li, 40% Rb и 35% Cs [21].

Пластовые воды, добываемые попутно с нефтью и газом на территории России, и воды, локализованные в пределах выработанных нефтегазовых месторождений и разведочных площадей на нефть и газ, в настоящее время являются относительно хорошо изученными подземными водами. В РФ ежегодный объем добываемых попутно с нефтью пластовых вод составляет около 800 млн м³. Законом РФ «О недрах» предусмотрена комплексная разработка всех видов полезных ископаемых, в том числе нефтяных и газовых. Возможность организации производства I, Br, Li и других компонентов из попутных подземных вод нефтяных и газовых месторождений в последние годы рассматривается многими исследователями, а также нефтяными и газовыми компаниями. Это направление деятельности было представлено на III Международной научно-практической конференции «Восстановление и развитие йодобромной отрасли химической промышленности Российской Федерации». Разработаны критерии отнесения месторождений углеводородов к объектам совместного освоения углеводородного и гидроминерального сырья [26].

Перспектива использования гидроминерального сырья касается многих регионов. Реальная ресурсная база промышленных подземных вод России на данный момент представлена пятью месторождениями: месторождения йодных вод – в Краснодарском крае и Тюменской области, йодо-бромных – в Пермском крае с общим количеством запасов 327,1 тыс. м³/сут; Астраханское с запасами йодных вод 31,8 тыс. м³/сут и Северодвинское в Архангельской области с запасами йодных вод 15,4 тыс. м³/сут. [27].

Районами возможного расширения или организации новых предприятий в России являются: по йоду – Краснодарский край и Тюменская область, по брому – Пермский и Иркутский край, по производству большого комплекса редких элементов и солей из подземных вод – Восточно-Предкавказский бассейн и др. В Тобольском районе Тюменской области сосредоточена почти половина всех запасов йода страны. В следующем году здесь планируют начать обустройство месторождения. На 2018 год уже намечено строительство первой очереди завода [28].

Запасы гидроминерального литийсодержащего сырья в виде глубинных пластовых рассолов и минерализованных вод сосредоточены в Северо-Кавказском и Сибирском регионах [29]. Планируется создание йодобромного производства на территории Ставропольского края [30]. Наиболее благоприятными для комплексного освоения углеводородного и гидроминерального сырья в настоящее время являются юг Иркутской области и юго-запад Республики Саха (Якутия), где открыты и готовятся к разработке месторождения газа и нефти [27]. Это относится и к Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в Республике Коми, которая включает в себя нефтяные и газовые месторождения [31]. Предлагается использование попутных пластовых вод Оренбургского нефтегазового комплекса в качестве гидроминерального сырья [32].

Попутные воды нефтяных месторождений рассматриваются как перспективный источник минерального сырья на территории Саратовской области [33]. Существует перспектива освоения гидроминерального сырья Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции [34].

Подземные воды нефтегазоносных бассейнов в настоящее время являются отходами производства и, как правило, отличаются высоким содержанием природных радионуклидов. В соленых водах и рассолах нефтегазоносных бассейнов концентрация радия достигает $n \cdot 10^{-8}$ – $n \cdot 10^{-10}$ г/л при его средней концентрации в водах Мирового океана – $1 \cdot 10^{-13}$ г/л [35].

В технологиях извлечения йода из подземных вод неизбежно образуются осадки на оборудовании с повышенным содержанием радия; коэффициент накопления радия в осадках на оборудовании относительно его содержания в воде составляет $\sim (1 \div 1,3) \cdot 10^4$ [36].

С большой вероятностью можно ожидать повышенное содержание радия в отходах и при других технологиях использования подземных вод нефтегазоносных бассейнов и формирования радиационного фактора, требующего вмешательства.

Минеральные подземные воды

На 01.01.2008 г. в государственном балансе учтены водные запасы 845 месторождений минеральных подземных вод с объемом 343,4 тыс. м³/сут. Запасы и ресурсы минеральных вод неравномерно распределены по территории России – 75% их сосредоточено в Центральном районе европейской части РФ и на Северном Кавказе [8].

По химическому составу и физическим свойствам выделяют несколько областей и районов природных минеральных вод: области углекислых вод – Закарпатье, Кавказ, Памир, Южный Тянь-Шань, Саяны, Забайкалье, Сихотэ-Алинь; азотные термальные источники находятся на Тянь-Шане и Алтае; сероводородные, азотметановые – на Кавказе; радоновые и железистые – в Карелии, на Кольском полуострове, на Урале в Свердловской и Челябинской областях, в Башкортостане, в Пятигорске, в Алтайском крае и др. [38].

В пределах только одного федерального курортного региона Кавказских Минеральных Вод насчитывается более 80 источников и скважин с минеральными водами 24 различных типов, с общими эксплуатационными запасами 29,7 тыс. м³/сут [39].

Россия располагает огромными возможностями расширения запасов и использования минеральных подземных

вод на территории Сибирского региона в Новосибирской, Иркутской и Читинской областях, в Бурятии и др. [40].

Потоки использования минеральных вод на разных месторождениях сильно различаются и могут достигать нескольких тыс. м³/сут, что составляет многие миллионы м³/год. Ориентиром могут служить данные 1999 г. (табл. 3) [5].

Таблица 3

Потоки минеральных вод на разных месторождениях

[Table 3]

Flows of mineral waters in different deposits

Адрес месторождения (курорта) [Field (resort) address]	Поток, м ³ /сутки [Flow, m ³ / day]
Кисловодск [Kislovodsk]	2000
Ессентуки [Yessentuki]	800
Сочи (Мацеста) [Sochi (Matsesta)]	7206
Ключевское (Татарстан) [Klyuchevskoye (Tatarstan)]	777
Сергиевское (Самарская обл.) [Sergievskoe (Samara region)]	6559
Старая Русса [Staraya Russa]	21600
Краинское (Тульская обл.) Krainskoye (Tula region)	960
Липовское (Свердловская обл.) [Lipovskoe (Sverdlovsk region)]	432
Увельдинское (Челябинская обл.) [Uveldinskoe (Chelyabinsk region)]	432

Для добычи минеральных вод используют буровые скважины, реже – колодцы; есть источники минеральных вод, которые сами изливаются на поверхность в виде родников и ключей [39].

При использовании минеральных вод повышенное содержание радионуклидов встречается в отложениях минеральных источников [41]. Происходит отложение изотопов радия на оборудовании, возможно формирование отходов с повышенным содержанием радионуклидов; тем более что объемы водных потоков месторождений минеральных вод весьма велики.

Заключение

География существующих и потенциальных объектов использования подземных вод охватывает большую территорию.

Из проведенного анализа следует, что во многих регионах страны используются большие объемы подземных вод. При этом существует вероятность дополнительного облучения работающих на предприятиях, использующих и/или перерабатывающих подземные воды, которое может оказаться выше допустимых уровней облучения работников, установленных в НРБ-99/2009. Кроме того, неизбежно формирование больших масс отходов, зачастую с повышенным содержанием радионуклидов, которые могут бесконтрольно поступать в хозяйственный оборот, использоваться в строительстве, рассеиваться в окружающей среде.

Перспектива увеличения объемов использования подземных вод, создание новых предприятий во многих регионах страны приведет к увеличению численности населения, оказавшегося под радиационным воздействием в связи с поступлением природных радионуклидов в сферу производства и окружающую среду.

На сегодняшний день радиационный контроль и гигиеническую оценку питьевой воды по показателям радиационной безопасности регламентируют нормативные документы НРБ-99/2009 (п. 5.3.5), СанПиН 2.6.1.2800-10 (п. 4.3), МУ 2.6.1.1981-05, МУ 2.6.1.2719-10. В ряде работ проведена оценка доз облучения населения за счет потребления питьевой воды, в том числе подземных вод [42, 43].

Вместе с тем, на сегодня явно недостаточно информации о поведении природных радионуклидов во многих других сферах использования подземных вод: в геотермальной энергетике, при получении из подземных вод ценных химических элементов и соединений, при использовании больших объемов подземных вод как необходимой компоненты промышленных технологий (металлургия, целлюлозно-бумажное производство и др.). Особого внимания заслуживает перспектива промышленного использования пластовых вод, создающих радиационные проблемы на предприятиях нефтегазового комплекса из-за повышенного содержания в них природных радионуклидов.

Радиационный контроль в перечисленных направлениях использования подземных вод до недавнего времени практически отсутствовал. Для его осуществления необходима разработка методических указаний и методических рекомендаций, учитывающих особенности поведения природных радионуклидов при использовании технических, термических и промышленных подземных вод. При создании новых предприятий оптимальным представляется использование имеющихся данных уже на этапе проектирования предприятий для предотвращения ухудшения радиационной обстановки на соответствующих объектах и вблизи них.

Литература

1. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. V. 1. United Nations. New York, 2010.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. Vienna, 2004.
3. EUROPEAN COMMISSION. Nuclear Safety and the Environment. Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water. Authors. J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Wornier. Report EUR 19255 Directorate General Environment. May 2000.
4. Вартамян, Г.С. Использование и перспективы освоения минеральных, термальных и промышленных вод / Г.С. Вартамян, В.А. Комягина, Р.И. Плотникова [и др.] // Гидрогеол., инж. геология: Обзор. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – 86 с.
5. Лисаченко, Э.П. Использование глубинных вод как объект радиационно-гигиенических исследований / Э.П. Лисаченко, И.П. Статат // Радиационная гигиена: сб. науч. трудов. – СПб., 2006. – С. 185–192.
6. Лисаченко, Э.П. Формирование радиационного фактора при использовании подземных вод в промышленности / Э.П. Лисаченко // Радиационная гигиена. – 2014. – Т.7, № 2. – С. 50–54.
7. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2015 году. Государственный доклад // НИА: Природа. – 2016. – 270 с.: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=11584> (дата обращения: 24.07.2017).
8. Информационно-аналитический центр МИНЕРАЛ Подземные воды: mineral.ru/facts/russia/131/291/index.html (дата обращения: 14.07.2017).
9. Центр государственного мониторинга состояния недр. Запасы подземных вод и их использование: http://www.geomonitoring.ru/mpv_zapas.aspx (дата обращения: 14.07.2017).
10. Подземные воды России: protown.ru/information/hide/2842.html (дата обращения: 27.08.2017).
11. Язвин, Л.С. Оценка прогнозных ресурсов питьевых подземных вод и обеспеченность населения России подземными водами для хозяйственно-питьевого водоснабжения / Л.С. Язвин // Главная Библиотека ГИДЭК «Разведка и охрана недр». – 2003. – № 10: <http://www.hydrogeoecology.ru/main-activities/48/88-2011-06-07-09-22-00.html> (дата обращения: 12.07.2017).
12. Вода России. Научно-популярная энциклопедия: <http://water-ru.ru> (дата обращения: 24.07.2017).
13. Олиферова, О.А. Особенности оценки эксплуатационных запасов подземных вод на территориях крупных городов / О.А. Олиферова // Разведка и охрана недр. – 2010. – №10: www.hydrogeoecology.ru/.../54-osobennosti-otsenki-ekspluatatsionn (дата обращения: 25.07.2017).
14. Лисаченко, Э.П. Возникновение радиационного фактора в системах водоподготовки при использовании подземных вод / Э.П. Лисаченко // Матер. науч.-практ. конф. «Чистая вода-здоровый город. Гигиенические проблемы питьевого водоснабжения северо-запада». – СПб., 2016. – С. 39–42.
15. Богуславский, Э.И. Использование геотермальной энергии в целях теплоснабжения геотермальными циркуляционными системами (ГЦС) / Э.И. Богуславский // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические Системы». – 2009. – № 2.: http://journal.esco.co.ua/2009_2/art143.htm (дата обращения: 09.08.2017).
16. Стенников, В.А. Применение геотермальных источников в теплоснабжении / В.А. Стенников, С.В. Жарков, П.А. Соколов // Промышленная энергетика. – 2014. – № 4. – С. 50–54.
17. Томаров, Г.В. Развитие Российских геотермальных энергетических технологий / Г.В. Томаров, А.И. Никольский, В.Н. Семенов, А.А. Шипков // Теплоэнергетика. – 2009. – № 11. – С. 2–12.
18. Омаров, М.А. Перспективы использования геотермальных и гидроминеральных ресурсов / М.А. Омаров, С.И. Саркаров, С.И. Белан // Вестник Российской академии естественных наук. – 2010. – С. 33–40.
19. Алиев, Р.М. Перспективы крупномасштабного использования геотермальной энергии в республике Дагестан / Р.М. Алиев, В.А. Васильев, М.И. Исрапилов [и др.] // Известия Российской академии наук. Энергетика. – 2010. – № 5. – С. 125–131: <http://naukarus.com/perspektivy-kрупnomasshtabnogo-ispolzovaniya-geotermalnoy-energii-v-respublike-dagestan> (дата обращения: 18.07.2017).
20. Геотермальная энергетика России. Интернет-портал «ГИС Энергоэффективность»: <https://gisee.ru/articles/alternate/24511/> (дата обращения: 09.08.2017).
21. Свалова, В.Б. Комплексное использование геотермальных ресурсов / В.Б. Свалова // Георесурсы. – 2009. – № 1(29). – С. 17–23: <https://geors.ru/archive/article/446/> (дата обращения: 28.08.2017).
22. Горбач, В.А. Проблемы утилизации отработанных геотермальных растворов / В.А. Горбач // Георесурсы. – 2014. – № 3(58). – С. 44–48.
23. Пузанков, Ю.М. Радиоактивные элементы в гидротермальных системах Камчатки / Ю.М. Пузанков, В.А. Бобров, В.А. Рашидов [и др.] // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: материалы II международного конф. – Томск, 2004. – С. 491–492.
24. Литвиненко, В.И. Эколого-технологические основы комплексного использования пластовых вод нефтяных месторождений / В.И. Литвиненко, Н.Д. Цхадая, В.Н. Волков. – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, 2001. – 59 с.

25. Алхасов, Д.А. Комплексное освоение геотермальных ресурсов / Д.А. Алхасов, Р.М. Алиев, А.Ш. Рамазанов // Юг России: экология, развитие. – 2016. – Т.11, № 1. – С. 149–158.
26. Бураков, Ю.Г. Совместное освоение углеводородного и гидроминерального сырья на месторождениях нефти и газа / Ю.Г. Бураков. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – № 4 (20). – С. 59–68.
27. Плотникова, Р.И. Состояние ресурсной базы промышленных подземных вод (гидроминерального сырья) России и проблемы ее освоения / Р.И. Плотникова // Электронный научный журнал «Георесурсы, Геоэнергетика, Геополитика»: http://oilgasjournal.ru/vol_4/plotnikova.html (дата обращения: 24.07.2017).
28. Фатеев, А. Снова пахнет йодом! / А. Фатеев / Парламентская газета «Тюменские известия». – 7 февраля 2015. – №18 (6161): <http://tyumen.rfn.ru/rnews.html?id=169829&cid=6> или <http://t-i.ru/article/new/3831> (дата обращения: 28.07.2017).
29. Рябцев, А.Д. Гидроминеральное сырье – неисчерпаемый источник лития в XXI веке / А.Д. Рябцев // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307, № 7. – С. 64–70.
30. Перспективы развития йодобромного производства на территории Ставропольского края: <http://www.chemmarket.org/ru/home/article/4177/> (дата обращения: 12.09.2017).
31. Ланина, Т.Д. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов / Т.Д. Ланина, В.И. Литвиненко, Б.Г. Варфоломеев. – Ухта: УГТУ, 2006. – 172 с.
32. Саркаров, Р.А. Использование попутных пластовых вод Оренбургского НГКМ в качестве гидроминерального сырья / Р.А. Саркаров // Газовая промышленность. – 2009. – № 6. – С. 21–22.
33. Клычев, Н.В. Попутные воды нефтяных месторождений – перспективный источник минерального сырья на территории Саратовской области / Н.В. Клычев, О.К. Навроцкий // Недра Поволжья и Прикаспия. – 2003. – Вып. 2. – С. 9–17.
34. Резуненко, В.И. Перспективы добычи йода и брома из гидроминерального сырья в Ставропольском крае / В.И. Резуненко, В.В. Зиновьев, Г.П. Ставкин [и др.] // Газовая промышленность. – 2003. – № 5. – С. 84–86.
35. Вожов, В.И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции / В.И. Вожов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. – 209 с.
36. Алексеев, Ф.А. Радиохимические и изотопные исследования подземных вод нефтегазоносных областей СССР / Ф.А. Алексеев, Р.П. Готтих, С.А. Сааков, Э.В. Сокольский. – М.: Недра, 1975. – 262 с.
37. Гращенко, С.М. Распределение естественных радионуклидов в технологическом процессе выделения йода из буровых вод воздушносорбционным методом / С.М. Гращенко [и др.] // Радиохимия. – 1997. – Т. 39. – С. 93–96.
38. Минеральные воды России: protown.ru/information/hide/2836.html (дата обращения: 18.09.2017)
39. Гидроминеральные лечебные ресурсы РФ, состояние и распространение, проблемы разработки и использования: <http://lektsii.org/5-75867.html> (дата обращения: 19.09.2017).
40. Водные ресурсы России: geographyofrussia.com/vodnyeresursy-rossii/ (дата обращения: 19.09.2017).
41. Мельгунов, С.В. Радионуклиды в отложениях минеральных источников Южной Тувы // С.В. Мельгунов Ю.М. Пузанков, М.С. Мельгунов [и др.] // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы II междунар. конф. – Томск, 2004. – С. 375–377.
42. Кадука, М.В. Оценка доз облучения населения Северо-Западного региона России за счет потребления питьевой воды / М.В. Кадука, Н.С. Швыдко, В.Н. Шутов, Л.Н. Басалаева, Ю.Н. Гончарова, Н.В. Салазкина, А.Н. Кадука // Радиационная гигиена. – Т. 3, № 1. – 2010. – С. 23–27.
43. Гончарова, Ю.Н. Оценка доз внутреннего облучения населения различных регионов Российской Федерации природными и техногенными радионуклидами за счет потребления питьевой воды / Ю.Н. Гончарова, Л.Н. Басалаева, М.В. Кадука, Н.С. Швыдко, А.Н. Кадука // Радиационная гигиена. – Т. 3, № 2. – 2010. – С. 39–44.

Поступила: 09.01.2018 г.

Лисаченко Эльвира Павловна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com

Королева Надежда Андреевна – старший научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Лисаченко Э.П., Королева Н.А. Региональные особенности использования подземных вод как потенциального источника формирования радиационного фактора // Радиационная гигиена. – 2018. – Т. 11, № 1. – С. 113-122. DOI: [10.21514/1998-426X-2018-11-1-113-122](https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-113-122)

Regional features of the use of groundwater as a potential source of the formation of the radiation factor

Elvira P. Lisachenko, Nadezhda A. Koroleva

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Underground water is one of the sources of water supply and the most important mineral resources. The enrichment of natural groundwater with radium isotopes is a geochemical regularity, and their use a recognized source of additional exposure to the population and the environment. Forecast resources of groundwater in the territory of the Russian Federation are 869055 thousand m³/day. As of 01.01.2015, 15054 deposits (sections) of groundwater have been explored, of which 10556 are in operation. In the federal districts, the volume of extraction and extraction of groundwater varies widely. The percentage of groundwater in domestic and drinking water supply in 35 regions of the Russian Federation ranges from 70 to 100%; in more than 30 regions it exceeds 90%. A whole series of large cities provide water supply through the underground water. Underground waters, depending on the field of application, are divided into drinking, technical, heat power, industrial and medical. The formation of numerous areas with an increased content of natural radionuclides for all types of groundwater is largely determined by the volume of their use. Organized use of groundwater is preceded by special water treatment, where it is possible to form doses of exposure to those above permissible levels established in NRB-99/2009 and the formation of a mass of waste with an increased content of natural radionuclides. In many regions of the country, there is a prospect of a constant increase in the use of all types of groundwater and the creation of new enterprises, which will require monitoring and radiation and hygienic assessment. Particular attention should be paid to the use of associated waters of oil and gas fields that have the highest content of natural radionuclides among groundwaters as a promising source of mineral raw materials.

Key words: natural radionuclides, groundwater, regional peculiarities, perspectives of use, radiation factor.

References

1. UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. V. 1. United Nations. New York, 2010.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical reports series № 419. Vienna, 2004.
3. EUROPEAN COMMISSION. Nuclear Safety and the Environment. Radiological Impact due to Wastes containing Radionuclides from Use and Treatment of Water. Authors: J. Hofmann, R. Leicht, H.J. Wingender, J. Worner. Report EUR 19255 Directorate General Environment. May 2000.
4. Vartanyan G.S., Komyagina V.A., Plotnikova R.I. [et al.] The use and prospects of development of mineral, thermal and industrial waters. *Gidrogeologiya, inzhenernaya geologiya = Hydrogeology, ing. Geology: Review*. Moscow, Geoinformmark, 1999, 86 p. (In Russian).
5. Lisachenko E.P., Stamat I.P. Use of deep waters as an object of radiation and hygienic research. *Radiation Hygiene: collection of scientific works*. Saint-Petersburg, 2006, pp. 185-192. (In Russian).
6. Lisachenko E.P. The formation of radiation factor during the use of underground water in industry. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol.7, №2, pp. 50-54. (In Russian).
7. On the Condition and Use of Water Resources of the Russian Federation in 2015. State report. 2016, 270 p. – Available from: <http://www.priroda.ru/lib/detail.php?ID=11584> (Accessed: July 24, 2017). (In Russian).
8. Information and Analytical Center MINERAL Underground waters. – Available from: mineral.ru/facts/russia/131/291/index.html (Accessed: July 14, 2017). (In Russian).
9. Center for state monitoring of mineral wealth. Reserves of groundwater and their use. – Available from: http://www.geomonitoring.ru/mpv_zapas.aspx (Accessed: July 14, 2017). (In Russian).
10. Underground waters of Russia. – Available from: protown.ru/information/hidden/2842.html (Accessed: August 27, 2017). (In Russian).
11. Yazvin L.S. Estimation of the forecasted resources of drinking groundwater and provision of the Russian population with groundwater for domestic and drinking water supply. *Library GIDEK «Prospect and protection of mineral resources»*, 2003, № 10 – Available from: <http://www.hydrogeoecology.ru/main-activities/48/88-2011-06-07-09-22-00.html> (Accessed: July 07, 2017). (In Russian).
12. Water of Russia. Popular science encyclopedia – Available from: <http://water-ru.ru> (Accessed: July 12, 2017). (In Russian).

Elvira P. Lisachenko

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev.

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com

13. Oliferova O.A. Estimation peculiarities of underground water supply at the territory of big cities. *Razvedka i okhrana neдр = Prospect and protection of mineral resources*, 2010, № 10. – Available from: www.hydrogeoecology.ru/.../54-osobnosti-otsenki-ekspluatatsionn (Accessed: July 24, 2017). (In Russian).
14. Lisachenko E.P. Occurrence radiation factor in water treatment systems using groundwater. *Proceedings of the Conference «Clean water is a healthy city. Hygienic problems of drinking water supply in the north-west»*. Saint-Petersburg, 2016, pp. 39-42. (In Russian).
15. Boguslavsky E.I. Use of geothermal energy for the purpose of heat supply by geothermal circulation systems. *Elektronnyy zhurnal energoservisnoy kompanii «Ekologichskie Sistemy» = Electronic Journal of the Energy Service Company «Ecological Systems»*, 2009, № 2. – Available from: http://journal.esco.co.ua/2009_2/art143.htm (Accessed: August 09, 2017). (In Russian).
16. Stennikov V.A., Zharkov S.V., Sokolov P.A. Application of geothermal sources in heat supply. *Promyshlennaya energetika = Industrial power engineering*, 2014, № 4, pp. 50-54. (In Russian).
17. Tomarov G.V., Nikolsky A.I., Semenov V.N., Shipkov A.A. Development of geothermal power engineering technologies in Russia. *Teploenergetika = Thermal Engineering*, 2009, № 11, pp. 2-12. (In Russian).
18. Omarov M.A., Sarkarov S.I., Belan S.I. Prospects of utilizing geothermal and hydro-mineral resources. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk = Herald of Russian Academy of Natural Sciences*, 2010, pp. 33–40. (In Russian).
19. Aliev R.M., Vasiliev V.A., Israpilov M.I. [et al.] The prospects on the large-scale utilization of geothermal energy in Republic Dagestan. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*, 2010, № 5, pp. 125–131. – Available from: <http://naukarus.com/perspektivy-krupnomasshtabnogo-ispolzovaniya-geotermalnoy-energii-v-respublike-dagestan> (Accessed: July 18, 2017). (In Russian).
20. Geothermal power engineering in Russia. Internet portal «GIS Energy Efficiency». – Available from: <https://gisee.ru/articles/alternate/24511/> (Accessed: August 09, 2017). (In Russian).
21. Svalova V.B. Complex use of geothermal resources. *Georesursy = Georesources*, 2009, № 1(29), pp. 17-23. – Available from: <https://geors.ru/archive/article/446/> (Accessed: August 28, 2017). (In Russian).
22. Gorbach V.A. Disposal of Exhausted Geothermal Solutions. *Georesursy = Georesources*, 2014, № 3(58), pp. 44-48. (In Russian).
23. Puzankov Yu.M., Bobrov V.A., Rashidov V.A. [et al.] Radioactive elements in the hydrothermal systems of Kamchatka. *Proceedings of the II international conference «Radioactivity and radioactive elements in the human environment»*. Tomsk, 2004, pp. 491-492. (In Russian).
24. Litvinenko V.I., Tskhadaya N.D., Volkov V.N. Ecological and technological fundamentals of integrated use of reservoir waters of oil fields. *Ukhta State Technical University*, 2001, 59 p. (In Russian).
25. Alkhasov D.A., Aliev R.M., Ramazanov A.Sh. Integrated exploration of geothermal resources. *Yug Rossii: ekologiya, razvitiye = South of Russia: Ecology, Development*, 2016, Vol. 11, № 1, pp. 149-158. (In Russian).
26. Burakov Yu.G. Joint development of hydrocarbon and hydromineral resources at oil and gas fields. *Vesti Gazovoy Nauki = News of the gas science*, 2014, № 4 (20), pp. 59–68. (In Russian).
27. Plotnikova R.I. The status of resources base of industrial groundwater (hydromineral raw resources) in Russia and problems of its development. *Georesursy, Geoenergetika, Geopolitika = Georesources, geoenergetics, geopolitics*. – Available from: http://oilgasjournal.ru/vol_4/plotnikova.html (Accessed: July 24, 2017). (In Russian).
28. Fateev A. Again smells of iodine! *The Parliamentary Newspaper «Tyumen news»*, February 7, 2015, №18 (6161). – Available from: <http://tyumen.rfn.ru/rnews.html?id=169829&cid=6> или <http://t-i.ru/article/new/3831> (Accessed: July 28, 2017). (In Russian).
29. Ryabtsev A.D. Hydromineral raw materials are an inexhaustible source of lithium in the 21st century. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2004, Vol. 307, № 7, pp. 64-70. (In Russian).
30. Prospects for the development of iodine-bromine production in the territory of the Stavropol Krai. – Available from: <http://www.chemmarket.org/ru/home/article/4177/> (Accessed: September 12, 2017). (In Russian).
31. Lanina T.D., Litvinenko V.I., Varfolomeev B.G. Processes of processing reservoir waters of hydrocarbon deposits. *Ukhta State Technical University*, 2006, 172 p. (In Russian).
32. Sarkarov R.A. Use of associated formation waters of the Orenburg oil and gas condensate field as a hydromineral raw material. *Gazovaya promyshlennost = Gas industry*, 2009, № 6, pp. 21–22. (In Russian).
33. Klychev N.V., Navrotsky O.K. Associated waters of oil deposits – a promising source of mineral raw materials in the Saratov region. *Nedra Povolzhya i Prikaspiya = Resources of Volga and Caspian*, 2003, Vol. 2, pp. 9–17. (In Russian).
34. Rezunenko V.I., Zinoviev V.V., Stavkin G.P. [et al.]. Prospects for extraction of iodine and bromine from hydromineral raw materials in the Stavropol Krai. *Gazovaya promyshlennost = Gas industry*, 2003, № 5, pp. 84–86. (In Russian).
35. Vozhov V.I. Underground waters and hydromineral raw materials of the Leno-Tunguska oil and gas province. *Novosibirsk*, 2006, 209 p. (In Russian).
36. Alekseev F.A., Gottikh R.P., Saakov S.A., Sokolsky E.V. Radiochemical and isotope studies of groundwater in the oil and gas bearing areas of the USSR. *Moscow*, 1975, 262 p. (In Russian).
37. Grashchenko S.M. [et al.]. Distribution of natural radionuclides in the technological process of iodine release from drilling waters by air-absorption method. *Radiokhimiya = Radiochemistry*, 1997, Vol. 39, pp. 93–96. (In Russian).
38. Mineral waters of Russia. – Available from: protown.ru/information/hide/2836.html (Accessed: September 18, 2017). (In Russian).
39. Nubaryan G.D. Hydromineral medicinal resources of the Russian Federation, condition and distribution, problems of development and use: educational-methodical manual on discipline «Resortografiya», 2013. – Available from: <http://le-ktsii.org/5-75867.html> (Accessed: September 19, 2017). (In Russian).
40. Water resources of Russia, – Available from: geographyofrussia.com/vodnye-resursy-rossii (Accessed: September 19, 2017). (In Russian).
41. Melgunov S.V., Puzankov Yu.M., Melgunov M.S. [et al.]. Radionuclides in sediments of mineral springs in Southern Tuva. *Proceedings of the II international conference «Radioactivity and radioactive elements in the human environment»*. Tomsk, 2004, pp. 375-377. (In Russian).
42. Kaduka M.V., Shvydko N.S., Shutov V.N., Basalaeva L.N., Goncharova Yu.N., Salazkina N.V., Kaduka A.N. Estimation of the doses to the population of the North-West Region of Russian Federation due to drinking water consumption. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2010, Vol. 3, No. 1, pp. 23-27. (In Russian).
43. Goncharova Yu.N., Basalaeva L.N., Kaduka M.V., Shvydko N.S., Kaduka A.N. Estimation of the doses of the internal exposure from the natural and anthropogenic radionuclides to the population of different regions of the Russian Federation due to drinking water consumption. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2010, Vol. 3, No. 2, pp. 39-44. (In Russian).

Received: January 09, 2018

For correspondence: Elvira P. Lisachenko – Candidate of Technical Sciences, Leading Scientific Worker, Natural Sources Dosimetry Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: elvira.lisachenko@gmail.com)

Nadezhda A. Koroleva – Senior Researcher, Natural Sources Dosimetry Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Lisachenko E.P., Koroleva N.A. Regional features of the use of groundwater as a potential source of the formation of the radiation factor. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2018, Vol. 11, No. 1, pp. 113-122. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-113-122