

ГИДРОГЕОХИМИЯ ЗАЕЛЬЦОВСКО-МОЧИЩЕНСКОГО ПРОЯВЛЕНИЯ РАДОНОВЫХ ВОД

Дмитрий Анатольевич Новиков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири; Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, доцент кафедр геологии месторождений нефти и газа и общей и региональной геологии, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Антон Сергеевич Деркачев

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, бакалавр кафедры общей и региональной геологии, e-mail: DerkachevAS@ipgg.sbras.ru

Анна Федоровна Сухорукова

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов, e-mail: SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Приводятся результаты изучения особенностей геохимии радоновых вод Заельцовско-Мочищенской зоны города Новосибирска. Показано, что радоновые воды – трещинные, холодные с температурой 6-10 °С, залегают на глубинах 50-200 м. В гидрогеологическом разрезе развиты нейтральные и слабощелочные (рН от 6,9 до 7,8) воды преимущественно гидрокарбонатного кальциевого и гидрокарбонатного кальциево-натриевого состава с величиной общей минерализации от 322 до 895 мг/дм³. Концентрации ²²²Rn в водонасыщенных зонах гранитов варьируют от 308 до 1521 Бк/дм³, а в скважинах, вскрывших роговики составляют 37-241 Бк/дм³. Содержания ²³⁸U и ²²⁶Ra не превышают 0.098 мг/дм³ и 3.5·10⁻⁷ мг/дм³ соответственно.

Ключевые слова: радоновые воды, гидрогеохимия, радон-222, уран-238, радий-226, Заельцовско-Мочищенская зона, город Новосибирск, Западная Сибирь.

HYDROGEOCHEMISTRY OF THE ZAELTSOVSKY-MOCHISHCHE FIELD OF RADON WATERS

Dmitry A. Novikov

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Head of Laboratory of Sedimentary Basins Hydrogeology of Siberia; Novosibirsk National Research State University, 1, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, Associate Professor of General and Regional Geology and Geology of Petroleum Fields Departments, e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Anton S. Derkachev

Novosibirsk National Research State University, 1, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, BSc of General and Regional Geology Departments, e-mail: DerkachevAS@ipgg.sbras.ru

Anna F. Sukhorukova

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Researcher of Laboratory of Sedimentary Basins Hydrogeology of Siberia, e-mail: SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Results of the studies into the features of the geochemistry of radon waters from the Zaeltovsky-Mochishche zone of Novosibirsk city are reported. Radon waters are fracture, cold with the temperature of 6-10 °C, they occur at a depth of 50-200 m. In the hydrogeological section, neutral and weakly alkaline waters are developed, with pH from 6,9 to 7,8, mainly with the calcium hydrocarbonate and calcium-sodium hydrocarbonate composition, with total mineralization from 322 to 895 mg/dm³. The concentrations of ²²²Rn in water-saturated zones of granites vary from 308 to 1521 Bq/dm³, while in the wells drilled into hornstones radon content varies within the range 37-241 Bq/dm³. The concentrations of ²³⁸U and ²²⁶Ra do not exceed 0.098 mg/dm³ and 3.5·10⁻⁷ mg/dm³, respectively.

Key words: radon waters, hydrogeochemistry, radon-222, uranium-238, radium-226, Zaeltovsky-Mochishche zone, Novosibirsk city, West Siberia.

Исследования по изучению содержания радона в природных водах ведутся достаточно широко многими научными коллективами в США, России, Болгарии, Германии, Испании, Италии, Венгрии, Китае, Турции, Иране и т. д. Концентрации радона в природных водах колеблются от 1 до 100000 Бк/дм³ и более [2, 5, 7, 10, 16, 20-31, 34-36]. Наряду с районами с пониженными фоновыми концентрациями ²²²Rn в водах имеются территории с весьма высокими, «ураганными» содержаниями. Такие регионы выявлены в Бразилии, Индии, Канаде, Турции и т.д. [24, 28]. В Иране известны родники с высокими концентрациями радона [22]. Повышенными фоновыми концентрациями радона характеризуются скандинавские страны. В России выявлены зоны с концентрацией радона в воде в 300-400 и более Бк/дм³ [35]. Так, например, на Ильменском хребте (Южный Урал) имеются радоновые источники с высокой эманацией до 2000 Бк/дм³ [2].

Новосибирск является единственным крупным городом России, где при широкомасштабных поисках на уран в Центральной Сибири, начатых еще в 1945 году СУ «Енисейстрой» МВД СССР, Березовской экспедицией было открыто урановое месторождение (Пригородное) [6, 19], и поэтому присутствие ²²²Rn в подземных водах носит природный характер. Его содержания обусловлены наличием рассеянных радиоактивных минералов в гранитах и гранодиоритах крупного Новосибирского массива. Эти 12 проявлений радоновых вод в пределах Новосибирской агломерации являются наименее изученными в России (концентрации ²²²Rn в которых варьируют от 2 до 25220 Бк/дм³), Зельцовско-Мочищенское не является исключением (рис. 1). В научной литературе приводятся лишь скудные сведения об их химическом составе и концентрациях радона [1, 4, 17], даже в обобщающих монографиях «Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические)» [16] и «Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири (Новосибирская, Омская, Томская области)» [3].



Рис. 1. Местоположение Заельцовско-Мочищенского проявления радоновых вод в пределах Новосибирской городской агломерации:

1 – район исследования

Поисковые работы на радоновые воды проводились в 1960-1980-е годы гидрогеологами ПГО «Новосибирскгеология» Е.К. Вериге, Н.К. Ахмеджановой, Б.Л. Врабий, Е.Г. Куксовой, Г.Т. Костенко, Н.А. Плаксиной, П.Л. Макидон, Л.Н. Косс, В.А. Жуковским, И.П. Карпинским и многими другими [1, 4, 17]. Заельцовско-Мочищенское проявление радоновых вод расположено в центральной части г. Новосибирска и приурочено к водообильным участкам северо-западной контактовой зоны крупного Новосибирского массива верхнепалеозойских гранитоидов, прорывающих здесь более древние породы инской серии верхнего девона – нижнего карбона. Палеозойские образования перекрыты рыхлыми четвертичными отложениями, мощностью до 50 м. Местами в пойме р. Оби они выходят на дневную поверхность. В гидрогеологическом разрезе исследуемой территории, как и в целом города Новосибирска можно выделить два водоносных комплекса [14, 18, 37]. Первый объединяет четвертичные отложения, а второй - породы палеозойского фундамента. Такие гидрогеологические условия широко развиты в прибортовых районах Западно-Сибирского артезианского бассейна [9, 11-13, 15, 32-33].

Радоновые воды Заельцовско-Мочищенской зоны являются нейтральными и слабощелочными (рН от 6,9 до 7,8), пресными с величиной общей минерали-

зации, варьирующей от 322 до 895 мг/дм³. По химическому типу (по классификации С.А. Щукарева) доминируют преимущественно гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные кальциево-натриевые воды (рис. 2, а). По содержанию радона (по классификации Н.И. Толстихина [16]) воды относятся к классам от очень слаборадоновых до сильнорадоновых с содержанием ²²²Rn от 11 до 1521 Бк/дм³ (рис. 2, б). Содержания ²³⁸U и ²²⁶Ra не превышают 0.098 мг/дм³ и 3.5·10⁻⁷ мг/дм³ соответственно.

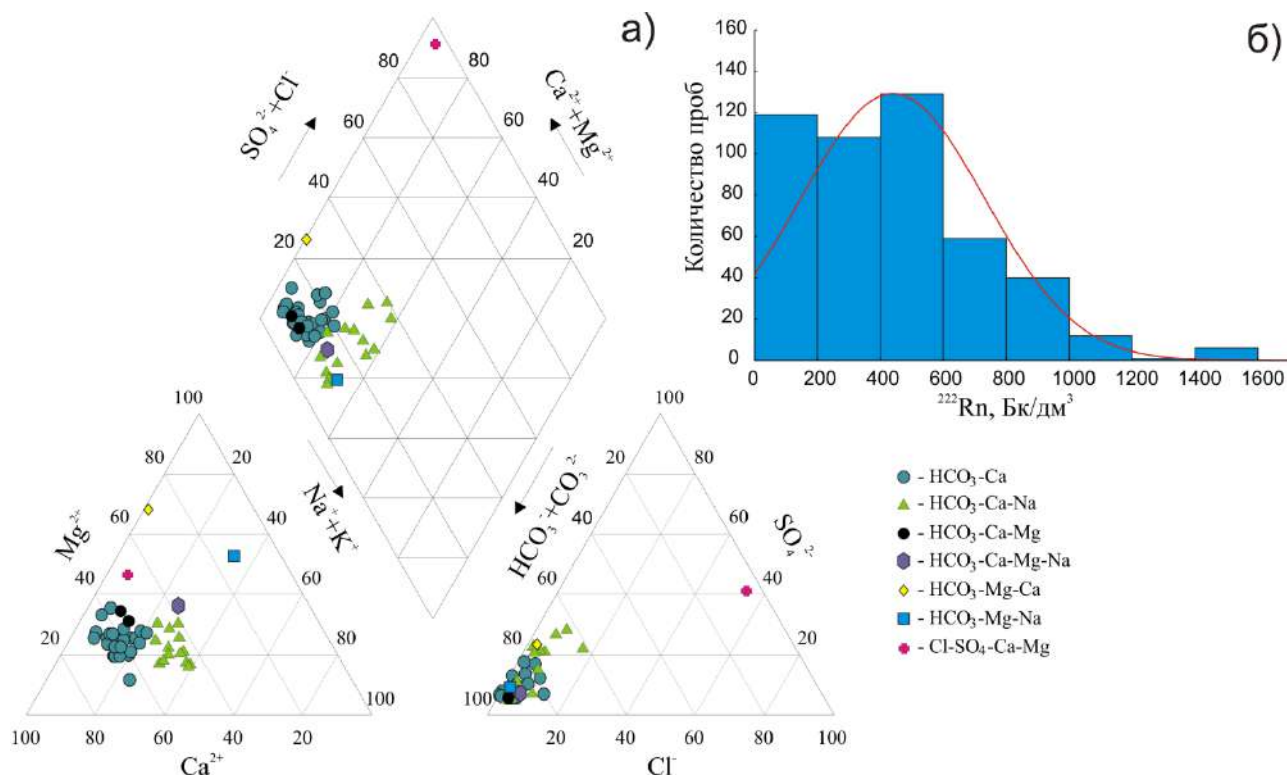


Рис. 2. Диаграмма Пайпера состава радоновых вод Заельцовско-Мочищенской зоны (а) и распределение в них радона (б)

Радоновые воды незначительно отличаются по своему химическому составу и содержанию основных макро- и микрокомпонентов. Формулы химического состава гидрокарбонатных кальциевых, кальциево-натриевых, кальциево-магниевых-натриевых и магниевых-кальциевых вод имеют следующий вид (в формуле М.Г. Курлова концентрация ²²²Rn приведена в нКи/дм³):

$$Rn11,8M0,65 \frac{HCO_3^- 90Cl^- 5SO_4^{2-} 5}{Ca^{2+} 68(Na^+ + K^+) 19Mg^{2+} 13} pH6,9T6,7 - 7,3, (скв. 36)$$

$$Rn18,5M0,79 \frac{HCO_3^- 78SO_4^{2-} 18Cl^- 4}{Ca^{2+} 55(Na^+ + K^+) 33Mg^{2+} 12} pH7,2T6,9 - 7,5, (скв. 29)$$

$$Rn16,5M0,32 \frac{HCO_3^- 89Cl^- 9SO_4^{2-} 2}{Ca^{2+} 41Mg^{2+} 30(Na^+ + K^+) 29} pH7,6T7,2 - 8,3, (скв. 20)$$

$$Rn7,1M0,80 \frac{HCO_3^- 77SO_4^{2-} 18Cl^- 5}{Mg^{2+} 62Ca^{2+} 33(Na^+ + K^+) 5} pH7,2T6,9 - 7,0, (скв. 62)$$

В изученных водах наиболее тесная связь с общей минерализацией отмечается у суммы натрия и калия, кальция, гидрокарбонат-иона, сульфат-иона и хлорид-иона концентрации которых варьируют в интервалах 7-107, 28-160, 207-488, 3-126 и 4-100 мг/дм³. Выявлено, что содержания гидрокарбонат-иона начинают снижаться при величине общей минерализации радоновых вод около 750-800 мг/дм³. Это сопровождается закономерным ростом в анионном составе концентраций сульфат- и хлорид-ионов и сменой химического типа вод. Установленные особенности накопления основных солеобразующих компонентов четче проявляются в разных химических типах радоновых вод. Так, например, в гидрокарбонатных кальциевых водах содержание натрия составляет 7-56, кальция – 79-159 мг/дм³, тогда как в кальциево-натриевых изменяется в диапазоне 27-107 и 43-111 мг/дм³ соответственно.

Сравнительный анализ особенностей геохимии радоновых вод Заельцовско-Мочищенского проявления и ряда месторождений Алтая, Тувы, Италии и других регионов [7, 23, 26, 29, 35-36] показал, что каждое месторождение имеет свой уникальный спектр распределения основных макро- и микрокомпонентов. Помимо химического состава радоновые воды значительно отличаются по величине общей минерализации от ультрапресных и пресных в пределах Заельцовско-Мочищенской зоны в Новосибирске, Белокурихинского, Каменского, Рахмановского месторождений на Алтае и Шивелигского в Туве до соленых вод с величиной общей минерализации до 19,9 г/дм³ на острове Джерба в Тунисе [35] и более. Установлено, что концентрации радона не зависят от химизма вод. В значительно большей степени она контролируется ее температурой, что связано с уменьшением растворимости газа с повышением ее температуры. Поскольку период полураспада ²²²Rn в ряду урана-радия составляет 3,823 сут., миграция его на расстояние более первых десятков метров от источника эманации практически невозможна, что также сказывается на концентрациях радона в воде. Поэтому ²²²Rn содержится в значимых количествах как в ультрапресных водах, пресных, так и в солоноватых и соленых. Таким образом, концентрация радона в водах не определяется их геохимическим типом и связана, прежде всего, с минералогическим составом (в акцессорной и рудной частях) водовмещающих пород, степенью дезинтеграции пород и наличием изотопных продуктов распада ряда урана-радия (эманирующего коллектора). Это утверждение подтверждается ростом концентраций радона в скважинах по мере приближения к контакту между гранитами и роговиками (рис. 3, а). Так, если в скважине № 29 на расстоянии 25 метров его содержание составляет 686,1 Бк/дм³, то в скважине № 37 только 78 Бк/дм³. Выявлено закономерное снижение его содержания по мере роста концентраций в воде растворенного кислорода (рис. 3, б). Таким образом, чем дальше изучаемый объект от источника эманации (гранитов) тем ниже его концентрация.

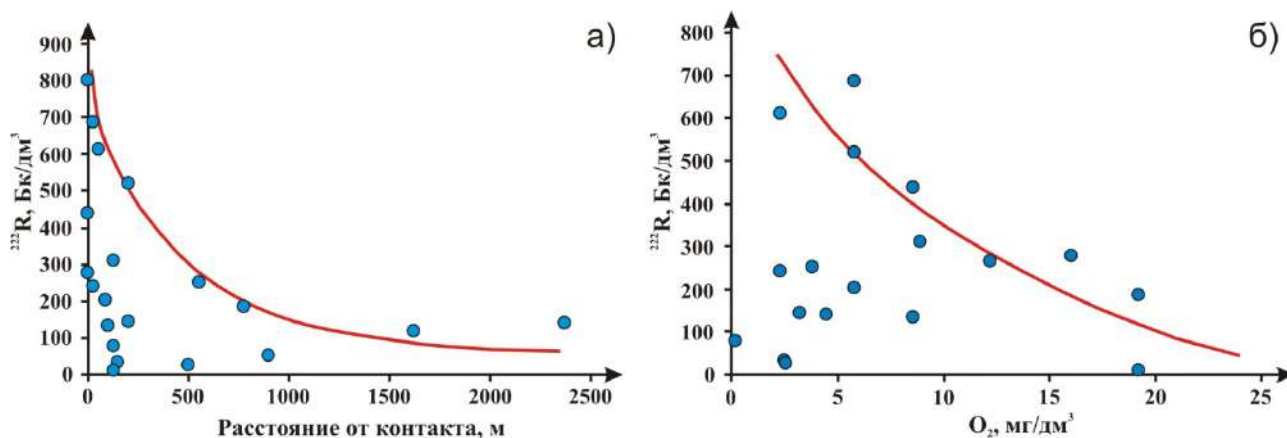


Рис. 3. Изменение концентрации радона в зависимости от расстояния скважины до контакта с гранитами (а) и содержания кислорода в воде (б)

Резюмируя вышесказанное можно сделать следующие выводы: 1) В гидрогеологическом отношении радоновые воды Заельцовско-Мочищенской зоны связаны с водоносными зонами верхнедевонско-нижнекаменноугольных глинистых сланцев и роговиков, а также верхнепалеозойских гранитов. Водообильность отложений изменяется в широких пределах, дебиты скважин составляют от 25 до 110 м³/сут. 2) Радоновые воды – трещинные, холодные с температурой 6-10 °С, залегают на глубинах 50-200 м. Воды по химическому составу (по классификации С.А. Щукарева) преимущественно гидрокарбонатного кальциевого и гидрокарбонатного кальциево-натриевого состава с величиной общей минерализации 322-895 мг/дм³. 3) Концентрации радона в воде варьируют в широких пределах от 11 до 1521 Бк/дм³, то есть по содержанию ²²²Rn воды относятся к классам от очень слаборадоновых до сильнорадоновых, минеральным (по классификации Н.И. Толстихина). Содержания ²³⁸U и ²²⁶Ra не превышают 0.098 мг/дм³ и 3.5·10⁻⁷ мг/дм³ соответственно. 4) Поскольку период полураспада ²²²Rn в ряду урана-радия составляет 3,823 сут., миграция его на расстояние более первых десятков метров от источника эманиции практически невозможна, что также сказывается на концентрации радона в воде родников. Поэтому ²²²Rn содержится в значимых количествах как в ультрапресных водах, пресных, так и в солоноватых. Таким образом, концентрация радона в водах не определяется их геохимическим типом и связана, прежде всего, с минералогическим составом (в аксессуарной и рудной частях) водовмещающих пород, степенью дезинтеграции пород и наличием изотопных продуктов распада ряда урана-радия (эманирующего коллектора).

Исследования проводились при финансовой поддержке проекта ФНИ № 0331-2019-0025 «Геохимия, генезис и механизмы формирования состава подземных вод арктических районов осадочных бассейнов Сибири» и Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Новосибирской области в рамках научного проекта № 19-45-540004.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вериго Е.К., Быкова В.В., Гусев В.К. Заельцовское месторождение радоновых вод (Новосибирское Приобье) // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири. – 1979. – Вып. 14. – С.47-51.
2. Гаврилкина С.В. Радоновые воды Ильменского хребта // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2016. – № 8-1. – С. 55-57.
3. Геологическое строение и полезные ископаемые Западной Сибири. Том II Полезные ископаемые. / Под ред. Н.А. Рослякова, В.Г. Свиридова. – Новосибирск: НИЦ ОИГГМ, 1998. – 299 с.
4. Гусев В.К., Вериго Е.К. Радоновые воды Колывань-Томской складчатой зоны, их использование и охрана // Изменение природных условий под влиянием деятельности человека. – Новосибирск. – 1984. – С. 99-107.
5. Діденко П.І. Radon of ground waters of Ukraine // Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист. – 2011. – № 3. – С. 123-128.
6. Долгушин А.П., Царук И.И. Урановорудный потенциал Центрально-Сибирского региона // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 10. – С. 28-34.
7. Елисеев В.А. Радоновые азотно-термальные воды Алтая // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2010. – № 5. – С. 38-40.
8. Корнеева Т.В., Новиков Д.А. Механизмы накопления микроэлементов в радоновых водах Заельцовского месторождения (юг Западной Сибири) // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). – Новосибирск: ИПЦ НГУ, 2018. – С. 270-276.
9. Кох А.А., Новиков Д.А. Гидродинамические условия и вертикальная гидрогеохимическая зональность подземных вод в западной части Хатангского артезианского бассейна // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41. – № 4. – С.375-386.
10. Матвеев А.В., Стародубова А.П., Кудельский А.В., Айзберг Р.Е., Найденов И.В., Карабанов А.К., Капора М.С. Радон в природных и техногенных комплексах Беларуси // Литосфера. – 1996. – № 5. – С. 151-161.
11. Новиков Д.А. Геолого-гидрогеологические условия палеозойского фундамента Новопортовского нефтегазоконденсатного месторождения // Известия Вузов. Нефть и газ. – 2005. – № 5. – С.14-20.
12. Новиков Д.А., Сухорукова А.Ф. Гидрогеологические условия нефтегазоносных отложений Березовского нефтегазоносного района (Западная Сибирь) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2009. – № 5. – С. 45-56.
13. Новиков Д.А. Гидрогеологические предпосылки нефтегазоносности западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8. – № 4. – С.881-901.
14. Новиков Д.А., Сухорукова А.Ф., Корнеева Т.В. Гидрогеология и гидрогеохимия Заельцовско-Мочищенского проявления радоновых вод (юг Западной Сибири) // Геодинамика и тектонофизика. – 2018. – Т. 9. – № 4. – С.1255-1274.
15. Новиков Д.А. Разведка месторождений нефти и газа в юрско-меловых отложениях полуострова Ямал на основе изучения водно-газовых равновесий // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 4. – С.16-21.
16. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические). – Л.: Недра, 1977. – 240 с.
17. Росляков Н.А., Жмодик С.М., Пахомов В.Г. Естественные радионуклиды в геологической среде Новосибирской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Международной конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2013. – С. 461-464.

18. Сухорукова А.Ф., Новиков Д.А. Гидрогеология Заельцовско-Мочищенского проявления радоновых вод (г. Новосибирск) // Подземные воды Востока России: Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXII Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием). – Новосибирск: ИПЦ НГУ. – 2018. – С. 473-480.
19. Царук И.И., Дундуков Н.Н. Основные вехи создания минерально-сырьевой базы урана России и Ближнего Зарубежья // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 10. – С. 3-17.
20. Яфасов А.Я., Яфасов А.А. Радоновые поля на территории центральной Азии // АНРИ. – 2003. – № 3. – С. 13-17.
21. Alonso H., Cruz-Fuentes T., Rubiano J.G., González-Guerra J., Cabrera M.C., Arnedo M. A., Tejera A., Rodríguez-Gonzalez A., Pérez-Torrado F.J., Martel P. Radon in Groundwater of the Northeastern Gran Canaria Aquifer // Water. – 2015. – V. 7. – P. 2575-2590.
22. Beitollahi M., Ghiassi-Nejad M., Esmaeli A., Dunker R. Radiological studies in the hot spring region of Mahallat, central Iran // Radiat Prot Dosim. – 2007. – V. 123. – № 4. – P. 505-508.
23. Bertolo A., Bigliotto C. Radon concentration in waters of geothermal Euganean basin-Veneto, Italy // Radiat Prot Dosim. – 2004. – V. 111. – № 4. – P. 355-358.
24. Böhm C. Radon in Wasser–Überblick für den Kanton Graubünden // Jahresbericht Naturforschende Gesellschaft Graubünden. – 2002. – V. 111. – 49 p.
25. Chaudhuri H., Nisith K.D., Bhandari R.K., Sen P., Sinh B. Radon activity measurements around Bakreswar thermal springs // Radiat Meas. – 2010. – V. 45. – P. 143-146.
26. Duenas C., Fernandez M.C., Enraquez C., Carretero J., Liger E. Natural radioactivity levels in Andalusian spas // Water Res. – 1998. – V. 32. – № 8. – P. 2271-2278.
27. Eross A., Madl-Szonyi J., Surbeck H., Horvath A., Goldscheider N., Csoma A.E. Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary // J. Hydrol. – 2012. – V. 426-427. – P. 124-137.
28. Gurler O., Akar U., Kahraman A. Measurements of radon levels in thermal waters of Bursa, Turkey // Fresenius Environ Bull. – 2010. – V. 19. – P. 3013-3017.
29. Hoehn E., von Gunten H.R. Radon in Groundwater: A Tool to Assess Infiltration From Surface Waters to Aquifers // Water resources research. – 1989. – V. 25. – № 8. – P. 1795-1803.
30. Kamenova-Totzeva R.M., Kotova R.M., Tenev J.G., Totzev A.V., Badulin V.M. Natural radioactivity content in Bulgarian drinking waters and consequent dose estimation // Radiat Prot Dosimetry. – 2015. – V. 164. – № 3. – 402-7.
31. Kies A., Hengesch O., Tosheva Z., Nawrot A. P., Jania J. Overview on radon measurements in Arctic glacier waters // The Cryosphere Discuss. – 2015. – V. 9. – P. 2013-2052.
32. Novikov D.A., Sukhorukova A.F. Hydrogeology of petroleum deposits in the northwestern margin of the West Siberian Artesian Basin // Arabian Journal of Geosciences. – 2015. – V. 8. – № 10. – P. 8703-8719.
33. Novikov D.A. Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Petroleum Exploration and Development. – 2017. – Vol. 44. – № 5. – P. 780-788.
34. Santos T.O., Bonotto D.M. ^{222}Rn , ^{226}Ra and hydrochemistry in the Bauru Aquifer System, São José do Rio Preto (SP), Brazil // Applied Radiation and Isotopes. – 2014. – V. 86. – P. 109-117.
35. Telahigue T., Agoubi B., Soud F., Kharroubi A. Groundwater chemistry and radon-222 distribution in Jerba Island, Tunisia. J. // Journal of Environmental Radioactivity. – 2018. – № 182. – P. 74-84.
36. Voronov A. N. Radon-rich waters in Russia // Environmental Geology. – 2004. – V. 46. – P. 630-634.
37. Novikov D.A., Korneeva T.V. Microelements in Radon Waters of The Zaelsovsky field (The Southern Part of West Siberia) // Journal of Physics: Conf. Series. – 2019. – V. 1172. – 012096.