

УДК 556.53:615.83

ГЕНЕЗИС МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ВУРНАРСКОГО РАЙОНА ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ ПО УРАН-ИЗОТОПНЫМ ДАННЫМ

А.Ф. Иванов, А.И. Тихонов, А.И. Шевелёв

Аннотация

В результате комплексных уран-изотопных и микроэлементных гидрохимических исследований установлено, что минеральные воды в Вурнарском районе образованы при смешении пластовых вод уржумских отложений с глубинными водами, поступающими по трещинным зонам.

Ключевые слова: минеральные воды, гидрохимические исследования, уран-изотопный метод.

Введение

Изотопно-геохимические методы при гидрогеологических исследованиях применяются достаточно давно и позволяют успешно решать различные задачи [1–6].

Уран-изотопный метод основан на использовании в качестве стабильного индикатора неравновесного природного урана (отношение альфа-активностей изотопов $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \neq 1$), содержащегося во всех типах вод гидросферы Земли. Ранее считалось, что в природе изотопы урана существуют всегда в равновесном состоянии. В 1953 г. В.В. Чердынцевым и П.И. Чаловым открыто явление естественного разделения изотопов урана-234 и урана-238 при переходе из твердой фазы в жидкую. Оно было зарегистрировано в Государственном реестре открытий под № 163 и названо в честь авторов «*эффектом Чердынцева – Чалова*» [7].

Неравновесный уран ($^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \neq 1$), образующийся при фильтрации вод через горные породы, представляет интерес для индикации гидрогеологических процессов. В каждой гидрогеологической структуре циркулирующие воды приобретают свою характерную метку в виде определенного избытка (а в некоторых случаях – недостатка) ^{234}U по отношению к ^{238}U . В условиях активного водообмена изменение изотопного отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ происходит только в результате смешения вод различных смежных потоков или внедрения в их пределы вод с другим изотопным составом урана. В связи с этим основным методологическим подходом при исследовании динамики подземных вод с помощью неравновесного урана как индикатора является изучение пространственных и временных закономерностей изменения величины изотопного отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = \gamma$ в водах отдельного участка и моделирование на этой основе гидрогеологических процессов.

Возможности уран-изотопного метода при изучении процессов формирования минеральных вод впервые для Восточно-Европейской платформы показаны нами на примере Чебоксарского месторождения минеральных вод (ЧММВ), расположенного в пределах Горьковско-Кильмезской линейной зоны субширотного простирания [8].

Целью настоящей работы является применение уран-изотопного метода для изучения условий формирования и циркуляции минеральных вод в пределах центральной части Чувашской региональной неотектонической зоны (ЧРНТЗ) субмеридионального простирания [9]. В качестве объектов исследований взяты известные в настоящее время проявления минеральных вод на территории Вурнарского района, на которых нами были проведены детальные изотопно-гидрохимические исследования [10–12].

Описание объекта

Вурнарский район расположен в центральной части Чувашской Республики, на севере Приволжской возвышенности и представляет собой возвышенное плато, пересеченное сетью речных долин и оврагов. Здесь находятся верховья рек Большой, Средний и Малый Цивиль.

Район приурочен к северному склону Токмовского свода в пределах Вурнарского прогиба, расположенного между Сундырским (с северо-запада) и Канашским (с юго-востока) поднятиями.

В геологическом строении территории принимают участие карбонатные и терригенные породы уржумского яруса пермской системы, терригенно-глинистые отложения юрской и меловой систем, а также четвертичные отложения.

Район располагается в пределах Волго-Сурского артезианского бассейна.

Первый от поверхности водоносный горизонт приурочен к отложениям валанжинского яруса нижнего мела (K_{1v}) и волжским отложениям верхней юры (J_{3v}). Водовмещающими породами являются кварцево-глауконитовые пески с желваками фосфоритов и горючие сланцы. Воды горизонта пресные, с минерализацией около 0.8 г/дм^3 , общая жесткость 9.6 мг-экв./дм^3 . По химическому составу воды гидрокарбонатные натриево-кальциево-магниевые и пригодны для питьевых целей, но ресурсы их небольшие.

Второй от поверхности водоносный горизонт приурочен к пачке оолитовых мергелей среднекелловейских отложений верхней юры, воды напорные (25–47 м). Мощность водовмещающих пород небольшая (0.5–1.0 м). Глубина залегания кровли (оксфорд-кимериджские глины) водоносного горизонта достигает 78.0 м. Воды в основном гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магниевые с минерализацией около $0.4\text{--}0.8 \text{ г/дм}^3$; для питьевых целей применяются ограниченно из-за небольших запасов.

Третий водоносный горизонт приурочен к песчаникам и известнякам уржумского яруса, воды напорные (44–76 м). Суммарная мощность водоносного комплекса 70–78 м. Кровля водоносного комплекса залегает в юго-западной части района на глубине 150–180 м, в центральной, северной и юго-западной частях – на глубине от 0–10 до 50–80 м. Дебиты скважин 1–3 л/с при понижении уровня от 5 м. до 12 м. Минерализация вод до 3.2 г/дм^3 . По химическому

составу воды сульфатные натриевые, не пригодные для хозяйственно-питьевых целей [10].

В Вурнарском районе в настоящее время выявлены три проявления минеральных вод – маломинерализованные сульфатные натриевые и гидрокарбонатно-сульфатные натриевые воды с минерализацией 1.6–3.2 г/дм³, используемые как лечебно-столовые. Режим подземных вод эксплуатируемых водоносных горизонтов на участках минеральных вод формируется в основном под влиянием водоотбора и в меньшей степени под влиянием метеорологических и гидрологических факторов. Качество подземных минеральных вод в целом соответствует нормативным требованиям, за исключением повышенного содержания бора.

Методика выполнения работы

Изучение пространственных и временных закономерностей изменения величины изотопного отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и, соответственно, выяснение гидрогеологических процессов проведено с помощью уран-изотопной и многоэлементной гидрогеохимической съёмки.

Выбраны представительные водопункты, включающие скважины, колодцы, родники, реки, характеризующие различные водоносные горизонты, позволяющие устанавливать взаимосвязь подземных и поверхностных вод. Объем проб составил 33–72 л.

В полевой лаборатории концентрирование урана из проб воды производилось с использованием в качестве сорбента активированного угля марки ОУ-Б. Вода подкислялась соляной кислотой до pH 1–2, перемешивалась с целью разрушения карбонатов и бикарбонатов, мешающих сорбции урана. Затем в пробу добавляли трассер ^{232}U в количестве 0.3–0.6 Бк с целью определения по его выходу при альфа-спектрометрических измерениях концентрации ^{238}U в воде. После трассера воду вновь перемешивали до pH 4–5, нейтрализовали уротропиновым буфером и добавляли уголь из расчета 250 мг/л. Полученный на фильтровальной бумаге порошок угля сушили на воздухе и подвергали радиохимической очистке урана от других радиоактивных примесей.

В стационарной лаборатории уран с активированного угля десорбировали карбонатным раствором и очищали от других мешающих альфа-излучающих изотопов (^{232}Th , ^{230}Th , ^{226}Ra), энергия альфа-частиц которых близка к энергии изучаемых изотопов урана. Для определения содержания урана и изотопных отношений использовался ионизационный альфа-спектрометр, аттестованный в ЦМИИ ГП «ВНИИФТРИ» Госстандарта России (свидетельство № 48810.13Ж36).

С целью контроля и исключения возможных нарушений электрических и аппаратурных параметров измерение каждой пробы воды производилось в несколько (обычно 3 или 4) экспозиций и определялись среднестатистические значения γ и концентрация ^{238}U . Полученные при этом альфа-спектры обрабатывались с помощью специальной компьютерной программы.

Вычисленные площади спектральных пиков изотопов урана заносились в электронную таблицу и суммировались, далее по этим площадям рассчитывались отношение активности изотопов урана, стандартное и относительное среднеквадратические отклонения, а также концентрация урана в пробе (г/дм³) по выходу трассера – ^{232}U . Использование в качестве трассера изотопа ^{232}U

позволяет не только контролировать выход урана при концентрировании из природных вод, но и определять с высокой точностью его общее содержание в водах (C_U).

Интерпретация результатов уран-изотопной съемки проведена на основе выявленных закономерностей изменения изотопного состава и концентрации урана в природных водах изучаемого района. Для этого вначале были построены изолинии величины $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ и C_U с использованием компьютерной программы. Далее определены источники питания водоносных горизонтов, составлена схема формирования вод различных подземных потоков.

Обсуждение результатов

По данным уран-изотопной съемки установлено, что величина отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = \gamma$ в подземных водах Вурнарского района изменяется в пределах от 1.22 ± 0.01 до 9.45 ± 0.10 отн. ед. при значительных колебаниях концентрации урана (от 0.062 до 28.000 мкг/дм³). Это свидетельствует о существовании на исследуемой территории достаточно отчетливой дифференциации уран-изотопных показателей, что создает хорошие предпосылки для разделения вод различных источников по величине γ .

По результатам опробования подземных вод в Вурнарском районе (87 пунктов) составлена карта распределения уран-изотопных показателей и концентрации SO_4^- (рис. 1).

Установлено, что на большей части территории района распространены воды с γ более 3.0 отн. ед., что свидетельствует о существенном вкладе глубинных вод в эксплуатируемый водоносный горизонт уржумских отложений.

Выявленные семь очагов поступления глубинных вод приурочены к наиболее ослабленным тектоническим зонам и рекам Большой и Малый Цивиль, расположение которых также определено этими зонами. К ним же приурочены выявленные в настоящее время проявления минеральных вод в Вурнарском районе (рис. 1 и 2). Так, скв. 573 Калининского районного потребительского общества расположена в северной части аномального участка 1, а скв. 415 ОАО «Вурнарский мясокомбинат» и скв. 1 Вурнарского хлебокомбината – в центральной части аномального участка (7). Локальные участки внедрения глубинных вод имеются также юго-восточнее (5) и северо-восточнее с. Калинино (2–4), а также в восточной (6) части территории Вурнарского района. Все эти участки находятся на территории вышеназванной неотектонической зоны, ширина которой составляет около 30 км.

Проявления минеральных вод в районах населенных пунктов Калинино и Вурнары приурочены к тектоническим нарушениям, что подтверждает их образование в результате смешения пластовых вод уржумских отложений с глубинными сульфатными водами (рис. 2). Площади поступления глубинных вод следует считать перспективными на выявление минеральных лечебно-столовых вод.

Глубинные воды являются сульфатными и придают воде лечебные свойства. Содержание сульфат-иона на большей части территории (рис. 1) превышает 500 мг/дм³, что значительно выше требований ПДК для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

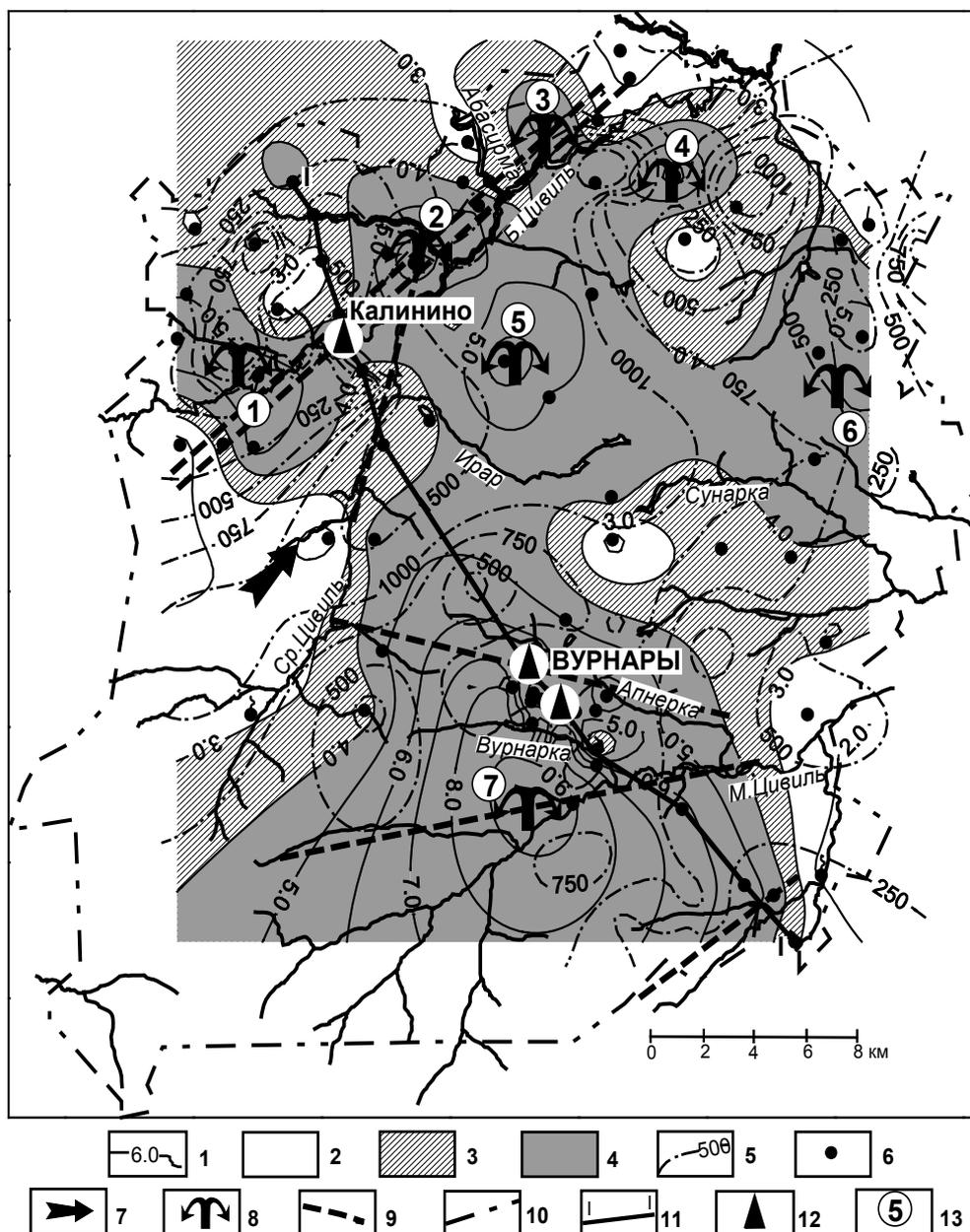


Рис. 1. Распределение уран-изотопных показателей и концентраций SO_4^{2-} в минеральных водах на территории Вурнарского района Чувашской Республики: 1 – изолинии $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = \gamma$, отн. ед.; 2–4 – пределы изменения величины γ : менее 3.0 (2), от 3.0 до 4.0 (3) и более 4.0 (4); 5 – изолинии концентрации SO_4^{2-} , мг/дм³ (по данным А.И. Тихонова и др., 2000) [3]; 6 – скважина; 7 – направление движения подземных вод; 8 – очаги поступления глубинных вод; 9 – тектоническое нарушение; 10 – административная граница района; 11 – линия разреза; 12 – известные проявления минеральных вод; 13 – номер аномальной зоны с повышенным содержанием γ

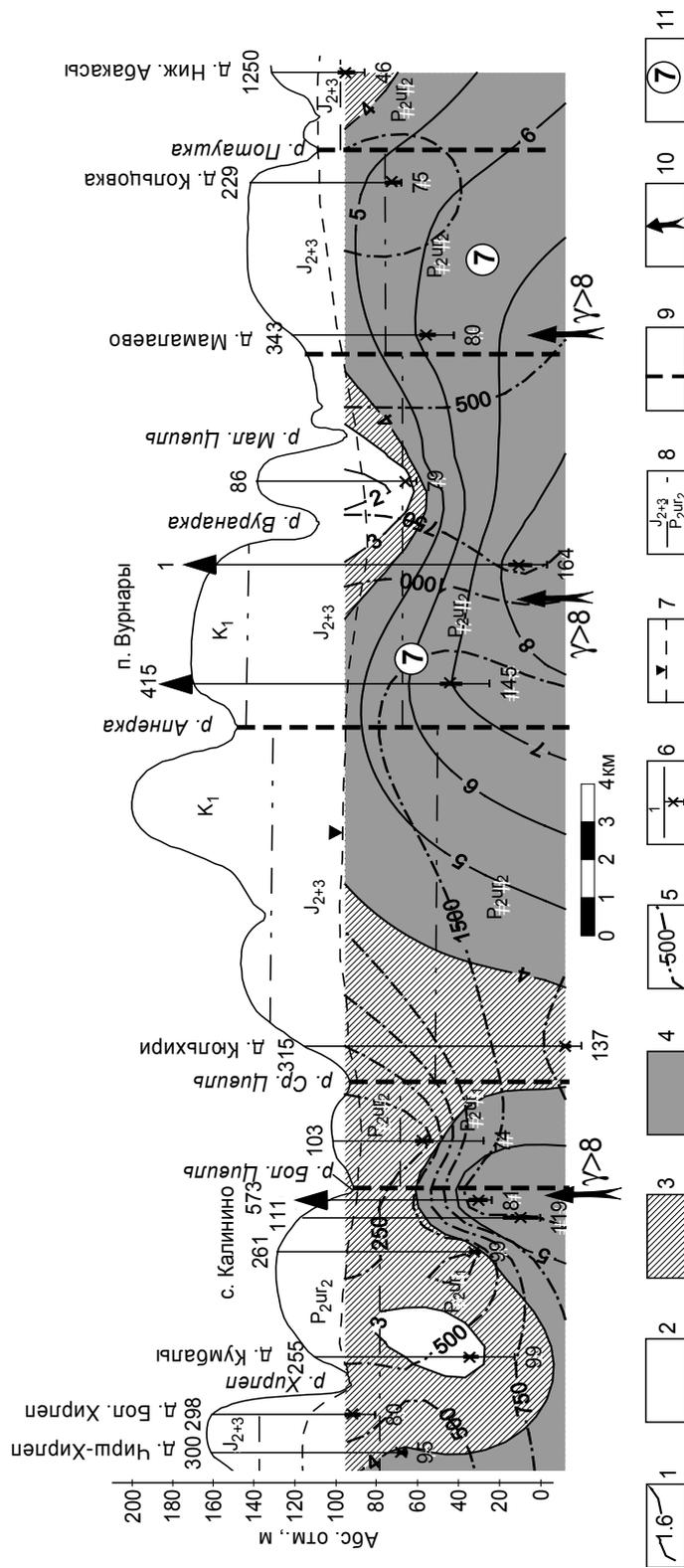


Рис. 2. Индикаторная модель формирования и циркуляции подземных вод в Вурнарском районе Чувашской Республики (разрез I – I): 1 – изолинии $^{234}U/^{238}U = \gamma$; 2–4 – пределы изменения величины γ : менее 3.0 (2), от 3.0 до 4.0 (3) и более 4.0 (4); 5 – изолинии концентрации SO_4^{2-} , мг/дм³; 6 – скважина и интервал установки фильтра (треугольником выделены скважины на месторождениях минеральных вод), цифры: вверху – номер скважины, внизу – глубина скважины, м; 7 – пьезометрический уровень, м; 8 – стратиграфическая граница; 9 – тектоническое нарушение; 10 – очаги поступления глубоких вод; 11 – номер аномальной зоны с повышенным содержанием γ

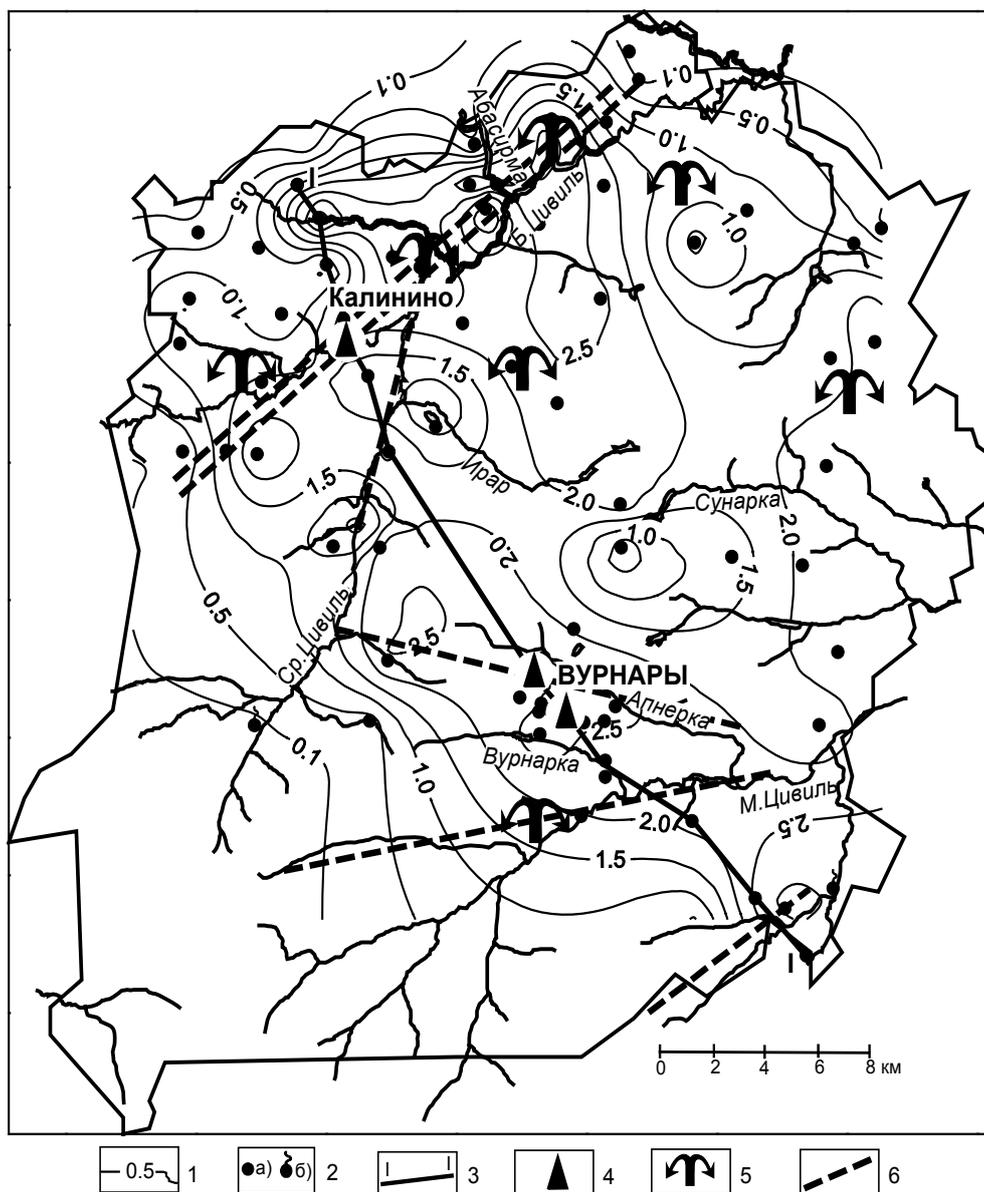


Рис. 3. Распределение бора в подземных водах уржумских отложений в Вурнарском районе Чувашской Республики: 1 – изолинии концентрации В, мг/дм³; 2 – водоупункты: а) скважина, б) родник; 3 – линия разреза; 4 – проявления минеральных вод; 5 – очаги поступления глубинных вод; 6 – тектоническое нарушение

Ранее нами было показано [13], что глубинные воды на территории Восточно-Европейской (Русской) платформы могут содержать значительное количество бора, являющегося токсичным элементом для человеческого организма. Повышенные содержания бора снижают качество минеральных вод, вплоть до их непригодности.

Проведённые микроэлементные гидрохимические исследования с использованием высокоточных масс-спектральных методов установили, что на терри-

тории Вурнарского района (рис. 3) практически во всех эксплуатационных скважинах наблюдается повышенное содержание бора (от 0.5 до 2.5 мг/дм³), при предельно-допустимой концентрации бора в питьевых водах 0.5 мг/дм³.

При интенсивном водоотборе из эксплуатируемых скважин может увеличиваться подток глубинных вод и, соответственно, концентрация бора, сульфатов и, возможно, других токсичных элементов, что предопределяет необходимость установления предельно допустимого отбора пресных и минеральных подземных вод.

Максимальные значения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = \gamma$ (10–20) характерны для глубинных вод, поступающих в зонах тектонических нарушений, а минимальные – $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = \gamma$ (1.0–1.4) – для вод поверхностных водотоков, атмосферных осадков и грунтовых вод.

Минимальные значения (1.4–1.6) величины изотопного сдвига урана характерны для пресных пластовых вод верхнего гидрогеологического этажа (юрские, меловые и пермские отложения) Восточно-Европейской платформы, что объясняется их преимущественным питанием за счёт поверхностных вод.

Установлено, что образование минеральных вод происходит в результате смешения глубинных вод, поднимающихся в верхние горизонты по трещинам неотектонических зон, с пресными пластовыми водами верхнего гидрогеологического этажа и минеральные воды имеют не повсеместное распространение, а находятся в виде локальных куполовидных ореолов, приуроченных к нарушенным зонам. Это выявлено при изучении закономерностей изменения изотопного состава подземных вод различных горизонтов и их взаимодействия.

Выводы

Существующее представление о повсеместном развитии на территории Чувашской Республики минеральных вод с неограниченными ресурсами следует считать ошибочным. Это объясняется недостаточно корректной интерпретацией общехимических показателей подземных вод при разведке месторождений и отсутствием в прежние годы достаточно надежных методов определения микрохимических показателей подземных вод, что подтверждается нашими исследованиями.

Полученные уран-изотопные данные подземных вод по всей территории Чувашской Республики показали повсеместное поступление глубинных вод по тектоническим нарушениям всей ЧРНТЗ, прослеживающейся с северо-запада на юго-восток через территории Моргаушского, Аликовского, Вурнарского, Ибресинского, Комсомольского, Батыревского и Шемуршинского районов Чувашской Республики.

Результаты работы подтверждают необходимость проведения изотопно-гидрохимических исследований в других районах Чувашской Республики с известными месторождениями и проявлениями минеральных вод. Это позволит уточнить их генезис, определить площади, перспективные на выявление новых месторождений, оценить степень защищённости от возможного глубинного и поверхностного загрязнения, определить объём предельно допустимого отбора.

Подобные сведения невозможно получить традиционными гидрогеологическими методами.

Применение названных методов даёт возможность не только оценивать генезис минеральных вод, но и прогнозировать их загрязнение, истощение естественных ресурсов в процессе эксплуатации месторождений, разрабатывать мероприятия для их защиты. Для определения наиболее благоприятных эксплуатационных параметров необходима постановка изотопно-гидрохимического мониторинга.

Summary

A.F. Ivanov, A.I. Tikhonov, A.I. Shevelev. Genesis of Mineral Waters on Territory of Vurnarsk District of Chuvashiya Republic Using Uranium-Isotope Method.

The results of complex uranium-isotope and microelement hydrochemical investigations allow stating that mineral waters in Vurnarsk district are formed at mixing of layer waters of Urzhum deposits with deep waters flowing through crack areas.

Key words: mineral waters, hydrogeochemical research, uranium-isotope method.

Литература

1. *Алексеев Ф.А., Готтих Р.П., Зверев В.Л., Спиридонов А.И.* Использование изотопного отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ в гидрогеологических исследованиях // Ядерная геология: Сб. тр. – М.: ОНТИ ВНИИЯГГ, 1974. – С. 75–90.
2. *Спиридонов А.И.* Использование изотопного отношения $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ для решения задач гидрогеологии (на примере Приташкентского артезианского бассейна) // Экспресс-информ. ОНТИ ВИЭМС. Сер. Гидрогеология и инженерная геология. – 1975. – № 6. – С. 9–26.
3. *Соботович Э.В., Бондаренко Г.Н., Ветштейн В.Е. и др.* Изотопно- геохимические методы оценки степени взаимосвязи подземных и поверхностных вод. – Киев: Наукова думка, 1977. – 154 с.
4. *Поляков В.А., Вартанян Г.С., Ежова М.П.* Изотопные исследования условий формирования минеральных и термальных вод некоторых районов Кавказа // Водн. ресурсы. – 1984. – № 2. – С. 32–40.
5. *Тихонов А.И., Чалов П.И., Сухопаров А.И.* Использование изотопов урана для изучения взаимосвязи водоносных горизонтов // Водн. ресурсы. – 1986. – № 6. – С. 28–36.
6. *Поляков В.А., Соколовский Л.Г.* Генезис и динамика минеральных вод Кавказа по результатам изотопно-геохимических исследований // Гидрогеология, инженерная геология. Обзор. – М.: Геоинформмарк, 2003. – 65 с.
7. *Чалов П.И., Тузова Т.В., Тихонов А.И., Меркулова К.И., Светличная Н.А.* Неравновесный уран как индикатор при изучении процессов формирования и циркуляции подземных вод // Геохимия. – 1979. – № 10. – С. 1499–1507.
8. *Иванов А.Ф., Тихонов А.И., Миронова Н.Е., Тихонов В.П., Иванов В.П.* Новый взгляд на генезис минеральных вод в бассейне р. Волга на основе уран-изотопных данных (на примере Чебоксарского месторождения) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2007. – № 3. – С. 68–84.
9. *Иванов А.Ф., Тихонов А.И., Миронова Н.Е., Тихонов В.П., Иванов В.П.* Особенности формирования минеральных вод в районе санатория «Волжские Зори» Чувашской Республики на основе изотопно-гидрогеохимических данных // Материалы IX меж-

- дунар. симп. и выставки «Чистая вода России-2007». – Екатеринбург, 2007. – С. 298–299.
10. *Тихонов А.И., Дувев Д.С., Васильев А.В.* Закономерности пространственных изменений гидрохимических показателей подземных вод на территории Вурнарского района Чувашской Республики // Изв. НАНИ ЧР. Естеств. науки. – 2000. – № 2. – С. 168–182.
 11. *Тихонов А.И., Моралев Г.В., Дувев Д.С., Васильев А.В., Николаев А.К.* Изотопно-гидрогеохимический метод прогнозирования и предотвращения природного загрязнения подземных вод токсичными элементами глубинного происхождения // Тез. докл. 2-го Всерос. науч.-практ. конф. «Научно-методические основы и практика регионального гидрогеологического изучения и картографирования» (п. Зеленый Моск. обл., 20–23 нояб. 2001 г.). – М.: ВСЕГИНГЕО, 2001. – Ч. II. – С. 78–81.
 12. *Тихонов А.И., Тихонов В.П., Миронова Н.Е., Иванов А.Ф., Сандалов А.Н.* Оценка экологического состояния и прогнозирования изменения качества подземных вод с помощью изотопно-гидрогеохимического метода (на примере Вурнарского района Чувашской Республики) // Сб. докл. 7 междунар. конгресса «ЭКВАТЭК-2006»: в 2 ч. – М., 2006. – Ч. 1. – С. 222–223.
 13. *Тихонов А.И., Дувев Д.С., Васильев А.В., Ольшева Г.Ф., Николаев А.К.* Изотопно-гидрогеохимические исследования природных процессов образования некондиционных подземных вод на Русской платформе и оценка риска для здоровья населения // Материалы Всерос. конф. «Оценка и управление природными рисками» (Риск-2003) (Москва, 26–27 марта 2003 г.). – М., 2003. – С. 101–105.

Поступила в редакцию
04.08.09

Иванов Анатолий Федорович – директор Общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт геологических и геоэкологических проблем» (ООО «НИИГиГЭП»), г. Чебоксары.

E-mail: niigigep@mail.ru

Тихонов Анатолий Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, советник директора Общества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт геологических и геоэкологических проблем» (ООО «НИИГиГЭП»), г. Чебоксары.

E-mail: niigigep@cbx.ru, niigigep@mail.ru

Шевелев Анатолий Иванович – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры общей геологии и гидрогеологии Казанского государственного университета.

E-mail: shevelev-ai@rambler.ru