ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАН - ИЗОТОПНОГО МЕТОДА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АКТИВНЫХ УЧАСТКОВ ГЛУБИННЫХ РАЗЛОМОВ НА РУССКОЙ ПЛАТФОРМЕ И ОЦЕНКИ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Тихонов А.И., Тихонов В.П., Васильев А.В., Егоров С.П., Миронова Н.Е. - ООО «НИИ геологических и геоэкологических проблем», Чебоксары

Аннотация. На основе комплексных исследований подземных вод с использованием уран - изотопного и многоэлементного гидрогеохимических методов на примере районов городов Чебоксары и Кирова показана возможность выявления и локализации активных участков глубинных разломов, на которых происходит современное внедрение глубинных вод, характеризующихся повышенным содержанием B, Li, Br, Cr, Mn и др. и необходимость учета природных факторов при оценке экологического состояния пресных подземных вод эксплуатируемых горизонтов.

URANIUM - ISOTOPE METHOD'S APPLICATION FOR ACTIVE PARTS OF DEEP BREAKS EXPOSURE ON THE RUSSIAN PLATFORM AND ESTIMATION OF THEIR INFLUENCE ON THE UNDERGROUND WATERS' ECOLOGICAL CONDITION

Tikhonov A.I., Tikhonov V.P., Vasiliev A.V., Egorov C.P., Mironov N.E. - Limited liability company "Research institute of geological and geoecological problems", Cheboksary

Abstract. On the basis of undeground waters combined analysis with uranium-isotope and multy-element hydro - geochemical methods application the possibility of exposure and localization of deep breaks active parts is revealed (on examples of Cheboksary and Kirov areas), where the intrusion of deep waters , characterized by increased content of B, Li, Cr, Mn etc., takes place. The necessity of taking into account the natural factors while estimating fresh underground waters ecological condition of exploited horizons is also shown.

Ещё в 30-е годы прошлого столетия известный тектонист Шатский Н.С. [1] утверждал, что глубинные разломы в пределах линеаментных зон на Русской платформе разрывают не только фундамент, сложенный кристаллическими образованиями, но прорывают и вышележащую толщу осадочных пород, достигая почти до земной поверхности. Он предупреждал, что в пределах этих зон могут происходить неотектонические процессы и эту вероятность необходимо учитывать при проектировании и строительстве гидростанций и атомных электростанций, а также промышленных предприятий.

Позднее правильность теории Н.С. Шатского подтвердили космические снимки, полученные с помощью искусственных спутников Земли. На космотектонической карте Восточно - Европейской платформы масштаба 1:2500000, полученной на основе этих исследований, отчетливо прослеживаются не только древние линеаментные зоны, но и многочисленные кольцевые разломы. Это доказывает, что древние разломы прорывают не только породы фундамента, но и осадочной толщи, отражаясь на морфологических особенностях поверхности земли. Аналогичными причинами объяснял и Илларионов И.К.[2] в 1947 г. крутые (почти 90^0) резкие повороты р. Волги в районах п. Васильсурска и г. Козьмодемьянска, а также у устья р. М. Кокшага ниже г. Мариинский Посад.

В ходе интенсивных исследований с целью поисков месторождений урановых руд в пределах Русской платформы учеными ВИМСа было сделано открытие о значительном поступлении гелия из глубин Земли и установлено, что именно в пределах линеаментных зон наблюдаются аномальные концентрации гелия [3].

Это доказывало неотектоническую активность глубинных разломов в пределах этих зон. По образному выражению И.Н. Яницкого [4], Русская платформа имеет структуру "колотого льда" или "кольчуги", т.е. блоковую структуру.

Результаты многочисленных исследований, проведенных нами в последнее десятилетие в различных районах Приволжского региона Русской платформы [см.,

например, 5 - 7] с использованием уран - изотопного метода индикаторного моделирования процессов формирования и циркуляции подземных вод, однозначно подтверждают поступление глубинных вод в пределах древних линеаментных зон. Установлено, что глубинные воды характеризуются максимальными значениями изотопного сдвига урана и в результате смешения их с пластовыми водами верхних водоносных горизонтов, величина отношения альфа - активностей изотопов $^{234}U/^{238}U = \gamma$ повышается до 5 - 7 относительно пластовых вод (1.5 - 1.6), иногда достигая 15 - 20. Участки внедрения глубинных вод располагаются вдоль разломов в виде цепочки очагов с повышенными значениями g.

Это свидетельствует о «точечном» поступлении глубинных вод, приуроченных к зонам пересечения разнонаправленных тектонических нарушений.

Комплексная работа уран - изотопных исследований с определением многокомпонентного химического состава подземных вод с помощью высокоточных масс - спектрометров, позволило установить в пределах очагов поступления глубинных вод аномальное повышение в эксплуатационных горизонтах питьевых вод концентрации различных токсичных для организма человека микроэлементов (B, Li, Br, Cr, Mn и др.), иногда превышающие ПДК.

Проведенные нами в последние годы комплексные изотопно - гидрогеохимические исследования показали, что в пределах Русской платформы происходит неотектоническая активизация древних тектонических нарушений глубокого заложения, и это является главной причиной поступления глубинных вод в районах древних линеаментных зон. Высокие концентрации в них токсичных химических элементов глубинного происхождения нередко приводят к образованию некондиционных для питья подземных вод, что может оказывать существенное влияние на здоровье населения, проживающего на Русской платформе.

Более того, исследования показали, что в последние годы процесс поступления глубинных вод в пределы эксплуатируемых водоносных горизонтов усиливается искусственно под влиянием водозабора в случаях его превышения над естественными ресурсами подземных вод.

Это происходит, в основном, при расположении водозаборных скважин на неразведанных площадях и отсутствии должного мониторинга за изменениями гидрогеологических условий в процессе откачки подземных вод.

Всё это свидетельствует о необходимости учета глубинного геологического фактора при проведении эколого - гидрогеологических исследований территорий с целью своевременного выявления районов поступления глубинных вод с аномальными концентрациями токсичных химических элементов и предотвращения или своевременной профилактики различных заболеваний населения, вызываемых этим явлением. Исследования показали, что при кондиционном, согласно общему химическому анализу составе подземных вод, присутствие в них различных микроэлементов в избыточном количестве делают их опасными при использовании для питьевого водоснабжения населения.

В данной работе показана возможность выявления активных участков в пределах глубинных разломов и внедрения глубинных вод с помощью уран - изотопного метода на примере районов Чебоксарского водохранилища и г. Кирова. Исследования проводились в комплексе с многоэлементной гидрохимической съемкой для оценки химического состава поступающих глубинных вод.

В настоящее время в ряде районов России гидрогеологическими организациями выполняется обширная программа работ по оценке обеспеченности населения качественной питьевой водой. В частности, в Чувашии принята республиканская целевая программа «Обеспечение населения Чувашской Республики качественной питьевой водой на 2005 - 2008 годы».

Наиболее остро стоит этот вопрос для двух крупных городах Чувашии - Чебоксары и Новочебоксарска, население которых (более 500 тыс. чел.) до сих пор снабжается

питьевой водой из Чебоксарского водохранилища, загрязненного как промышленными сточными водами, так и за счёт поступления глубинных вод с повышенным содержанием токсичных для организма человека микроэлементов.

В районе городов Чебоксары и Новочебоксарска в период 1996 - 2000 гг. нами была проведена комплексная уран - изотопная и многоэлементная гидрогеохимическая съемка подземных и поверхностных вод. Всего было опробовано 283 водопункта, в том числе 99 водозаборных скважин, 49 родников, 63 колодца и пьезометра, 29 поверхностных водных объектов (пруды, ручьи и т.д.). Для получения измеримых количеств урановых препаратов производилось концентрирование его из проб воды в полевой лаборатории с использованием в качестве сорбента активированного угля марки ОУ - Б. В стационарной лаборатории уран с активированного угля десорбировался аммиачно - карбонатным методом и очищался от других мешающих альфа - излучающих изотопов, энергия альфа - частиц которых близка к энергии изучаемых изотопов урана (^{232}Th, ^{230}Th, ^{226}Ra).

Выход урана при его концентрировании контролировался путем введения в пробу трассера изотопа урана ^{232}U. Измерения уран - изотопных показателей вод производились с помощью ионизационных альфа - спектрометров. Погрешность измерений изотопного отношения ^{234}U/^{238}U в большинстве проб не превышала 2% и только в случаях слабоактивных проб достигала 5%. Погрешность определения концентрации урана также составляла не более 5%. Определение многоэлементного химического состава природных вод (одновременно 72 элемента) проводились в ядерно - физической лаборатории Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН методами масс - спектрометрии с индуктивно связанной плазмой.

Результаты уран - изотопной съемки представлены на рис.1(цветная вкладка) в виде карты - модели формирования и циркуляции подземных вод татарских отложений, полученной на основе изучения закономерностей изменения величины альфа - активностей изотопов урана ^{234}U/^{238}U = g по площади района. Она позволила выявить источники питания и их ресурсы, а также участки взаимодействия различных водоносных горизонтов.

Как видно из рисунка, собственно пластовые воды татарских отложений образуют два потока.

Один из них (западный), условно названный нами Сугутским, исходя из территориальной приуроченности, движется с юго - запада вдоль долин малых городских рек Чебоксарка и Сугутка в северо - восточном направлении.

Воды этого потока характеризуются величиной отношения ^{234}U/^{238}U менее 1.60 и высоким содержанием урана (до 13.4 мкг/л в центральной части потока). При движении в северном направлении ширина этого подземного потока увеличивается от 3 - 4 км на юге до 6 - 8 км, что свидетельствует о постепенном уменьшении фильтрационных свойств водовмещающих пород.

Другой подземный поток (центральный) пластовых вод татарских отложений выделен по уран - изотопным данным в южной и юго - восточной частях изученной территории.

Воды этого потока формируются южнее деревень Альгешево, Устакасы, Ильбеши, Шанары и Б. Князь - Теняково. Западная часть этого потока движется в северном направлении по створу д. Альгешево - п. Южный - д. Пихтулино, а восточная – в северо - восточном направлении в районе деревень Яндово - Толиково - Алымкасы.

Для вод этого потока также характерны пониженные значения g (менее 1.60) и повышенное содержание урана (до 10.3 мкг/л) по сравнению с водами окружающих территорий. В северной части изученного района в прибрежных районах Чебоксарского водохранилища величина отношения изотопов урана постепенно увеличивается и на отдельных локальных аномальных участках достигает 3,0 - 6,0 отн. ед. Это обусловлено поступлением в активных зонах тектонических нарушений глубинных вод, характе-

ризующихся, как было установлено нами в других приволжских регионах, высоким изотопным сдвигом урана ($\gamma = 18 - 20$ отн.ед.). Наблюдаемые в районе Чебоксары и Новочебоксарска значения γ в пределах 3 - 6 отн.ед. объясняются смешением в различных пропорциях собственно пластовых вод с $\gamma = 1,6$ с глубинными водами.

В прибрежных территориях и в пределах акватории Чебоксарского водохранилища наблюдается практически повсеместное внедрение глубинных вод. Это вызвано поступлением глубинных вод в зоне разломов линеаментной зоны, простирающейся вдоль русла водохранилища. Как показали последующие исследования, именно к локальным участкам поступления глубинных вод в пределах акватории водохранилища приурочены аномальные участки с повышенным содержанием тяжелых металлов, обнаруженных казанскими учеными в донных осадках [8]. Вместе с тем, небольшие участки поступления глубинных вод отмечаются в виде аномалий в районах п. Лапсары - на западе и д. Кодеркасы, и д. Мошкасы - на востоке. Это объясняется локальным внедрением глубинных вод в наиболее дробленые породы, которые распространены в областях пересечения разнонаправленных тектонических нарушений, а в нашем случае – глубинных разломов линеаментной зоны с оперяющими тектоническими нарушениями.

С целью определения более полного спектра химических элементов, поступающих в эксплуатируемые водоносные горизонты пресных подземных вод, нами одновременно с уран - изотопной съемкой была параллельно проведена многоэлементная гидрогеохимическая съемка.

В пределах участков поступления глубинных вод в водоносных горизонтах татарских отложений установлено повышенное содержание лития, бора, брома в концентрациях, превышающих предельно допустимые для питьевых вод норм.

В качестве примера на рис.2 (цветная вкладка) показана карта распределения бора в подземных водах татарских отложений в районе городов Чебоксары и Новочебоксарска. На территории левобережья гидрогеохимические исследования не проводились, чем объясняется отсутствие карты для этой части.

Полученные данные показывают наличие в восточной части территории в районе г. Новочебоксарска и деревень Мошкасы, Липово и Толиково обширной аномальной зоны с повышенным содержанием бора в подземных водах, эксплуатируемых горизонтов. Она в общих чертах пространственно совпадает с уран - изотопной аномальной зоной поступления глубинных вод, показанной на рис.1.

Аналогичная аномальная зона с повышенным содержанием бора отмечается также в районе п. Лапсары, где на рис.1 наблюдается локальное внедрение глубинных вод по уран - изотопным данным.

Другим ярким примером выявления участков поступления глубинных вод уран - изотопным методом являются результаты работ в районе г. Кирова, где в процессе уран - изотопной съемки исследованы пробы воды, отобранные из 152 скважин, 37 буровых и шахтных колодцев, 15 родников, а также 25 поверхностных водотоков.

На основе полученной уран - изотопной информации была построена модель формирования и циркуляции подземных вод татарских отложений – основного водоносного горизонта данного региона, которая приведена на рис.3 (цветная вкладка).

Участки, где преобладают собственно-пластовые воды, характеризующиеся относительно низкими значениями (менее 2,5) изотопного отношения урана $^{234}U/^{238}U = \gamma$, обозначены светлым фоном. Стрелками показаны направления движения пластовых вод татарских отложений. Они свидетельствуют о том, что пластовые воды направлены в сторону дренирующих их русел рек Вятки, Чепцы и Большой Просницы. Тёмным фоном с восходящими стрелками обозначены участки, на которых поступают глубинные воды в пределы эксплуатируемых горизонтов татарских отложений. Они приурочены к участкам пересечения разнонаправленных тектонических

нарушений и ослабленным зонам в пределах разломов. Глубинные воды характеризуются максимальными значениями изотопного отношения урана (более 10 - 15).

В пределах тех участков, где величина γ несколько меньше этих значений, происходит смешение глубинных вод в различных пропорциях с пластовыми, характеризующимися $\gamma \approx 1.5$ равновесных единиц.

В районах, в которых по уран - изотопным данным отмечается внедрение глубинных вод, наблюдаются и относительно высокие концентрации бора – элемента - индикатора глубинных вод (см. рис.4, цветная вкладка). Максимальные концентрации бора достигают 14 ПДК, т.е. 7.3 мг/л.

При сопоставлении карт, приведенных на рис.3 и рис.4, можно видеть почти идеальное пространственное совпадение участков поступления глубинных вод и аномального содержания бора.

Следовательно, это не оставляет никаких сомнений относительно глубинного генезиса бора в подземных водах эксплуатируемых горизонтов.

По результатам уран - изотопных и микроэлементных гидрогеологических исследований был составлен прогноз возможного развития дальнейших процессов загрязнения подземных вод в районе г. Кирова с рекомендациями для наиболее безопасного водопользования: регулирование водоотбора путем сокращения количества водозаборных скважин на участках поступления глубинны борсодержащих вод, выбор мест заложения новых водозаборных скважин на участках преимущественного распространения собственно - пластовых вод.

Таким образом, проведенные нами в последние годы комплексные изотопно - гидрогеохимические исследования показали, что в пределах Русской платформы происходит неотектоническая активизация древних тектонических нарушений глубокого заложения, и это является главной причиной поступления глубинных вод в районах древних линеаментных зон.

Высокие концентрации в них токсичных химических элементов глубинного происхождения нередко приводят к образованию некондиционных для питья подземных вод, что может оказывать существенное влияние на здоровье населения, проживающего на Русской платформе.

Более того, исследования показали, что в последние годы процесс поступления глубинных вод в пределы эксплуатируемых водоносных горизонтов усиливается искусственно под влиянием водоотбора в случаях его превышения над естественными ресурсами подземных вод. Это происходит, в основном, при бурении водозаборных скважин на неразведанных площадях и отсутствии должного мониторинга за изменениями гидрогеологических условий в процессе откачки подземных вод.

Новый изотопно - гидрохимический метод позволяет обнаружить изменения гидрогеологической ситуации в процессе работы водозаборных сооружений даже при одноразовом отборе проб на анализ.

Поэтому для ускоренного решения проблемы по оценке поступления токсичных химических элементов с глубинными водами в пределы водоносных горизонтов пресных вод можно использовать этот метод, показавший себя как высокоточный и экспрессный при более низкой стоимости по сравнению с традиционными гидрогеологическими методами.

Вышеизложенное свидетельствует о необходимости учета глубинного геологического фактора при проведении эколого - гидрогеологических исследований территорий с целью своевременного выявления районов поступления глубинных вод с аномальными концентрациями токсичных химических элементов и предотвращения или своевременной профилактики различных заболеваний населения, вызываемых этим явлением.

Исследования показали, что при кондиционном, согласно общему химическому анализу, составе подземных вод, присутствие в них различных микроэлементов в избыточном количестве делают их опасными для использования для питьевого водоснабжения населения.

В настоящее время на территории России гидрогеологическими организациями

выполняется программа работ по оценке обеспеченности населения качественной питьевой водой. Однако при выполнении этих работ не учитывается возможность попадания в эксплуатационные водоносные горизонты некондиционных для питья глубинных вод, характеризующихся высоким содержанием токсичных химических элементов глубинного генезиса.

Подобный подход может привести к ложным выводам и необходимости существенного дополнения этой работы, когда со временем выяснится существенное влияние глубинных токсичных химических элементов, содержащихся в питьевых подземных водах, на здоровье населения.

Поэтому нами предлагается включить новый экспрессный изотопно - гидрогеохимический метод в обязательный комплекс работ при эколого - гидрогеологических исследованиях территории Русской платформы, а также других районов со сходными гидрогеологическими условиями.

Своевременное проведение таких исследований позволит не только обнаружить участки поступления глубинных вод и локализовать их, но и принять наиболее эффективные меры для предотвращения дальнейшего развития негативных процессов и ограничения степени воздействия их на здоровье населения.

Литература

1. *Шатский Н.С.* Тектоническая карта СССР. М.: Наука, 1953.173 с.

2. *Илларионов И. К.* Проблема нефтеносности Приволжской полосы Свияжско - Сурскоговодораздела. М., 1947.188 с.

3. *Яницкий И.Н.* Гелиевая съемка. М., 1979. 96 с.

4. *Яницкий И.Н.* Прозрение. (В истоках Чернобыльской катастрофы) //Свет. 1996, № 8, с.с. 32 - 34, 64 - 68.

5. *Тихонов А. И., Васильев А. В., Николаев А. К.* Выявление зон современного внедрения глубинных вод в условиях Среднего Поволжья уран - изотопным методом / Тез. докл. Всерос. науч. – практ. конф. «Геоэкол. картографирование», п. Зеленый Моск. обл.: ВСЕГИНГЕО, 24 - 27 февраля 1998 г., М.: Геоинформмарк, 1998. с. 67 - 69.

6. *Тихонов А.И., Голицын М.С., Моралев Г.В., Русских А.В.* Экспрессный изотопно - гидрогеохимический метод оценки экологического состояния пресных подземных вод на геологической платформе условиях широкомасштабного поступления глубинных вод /Матер. Второй Междунар. конф. «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохр. технологии освоения недр. Москва, 15 - 18 сент. 2003 г. М., 2003, с. 296 - 298.

7. *Тихонов А.И., Русских А.В., Моралев Г.В., Голицын М.С., Васильев А.В., Дуев Д.С., Тимонова В.А., Николаев А.К., Лемешко А.П.* Комплексные изотопно - гидрохимические исследования экологического состояния подземных вод в районе г. Кирова /Водные ресурсы. 2004, № 6, с. 726 - 731.

8. *Семенов В.Ф., Егоров С.П.* Экологическое состояние Чебоксарского водохранилища в его нижней части от устья Суры до гидроузла /Матер.Всерос. науч. - практ. конф. «Водные рес. и экологически ответственное природопользование». Йошкар - Ола, 1999, с. 35 - 42.

К статье Тихонова А.И., Тихонова В.П. и др. "Использование уран - изотопного метода для выявления активных участков глубинных разломов на Русской платформе и ……"

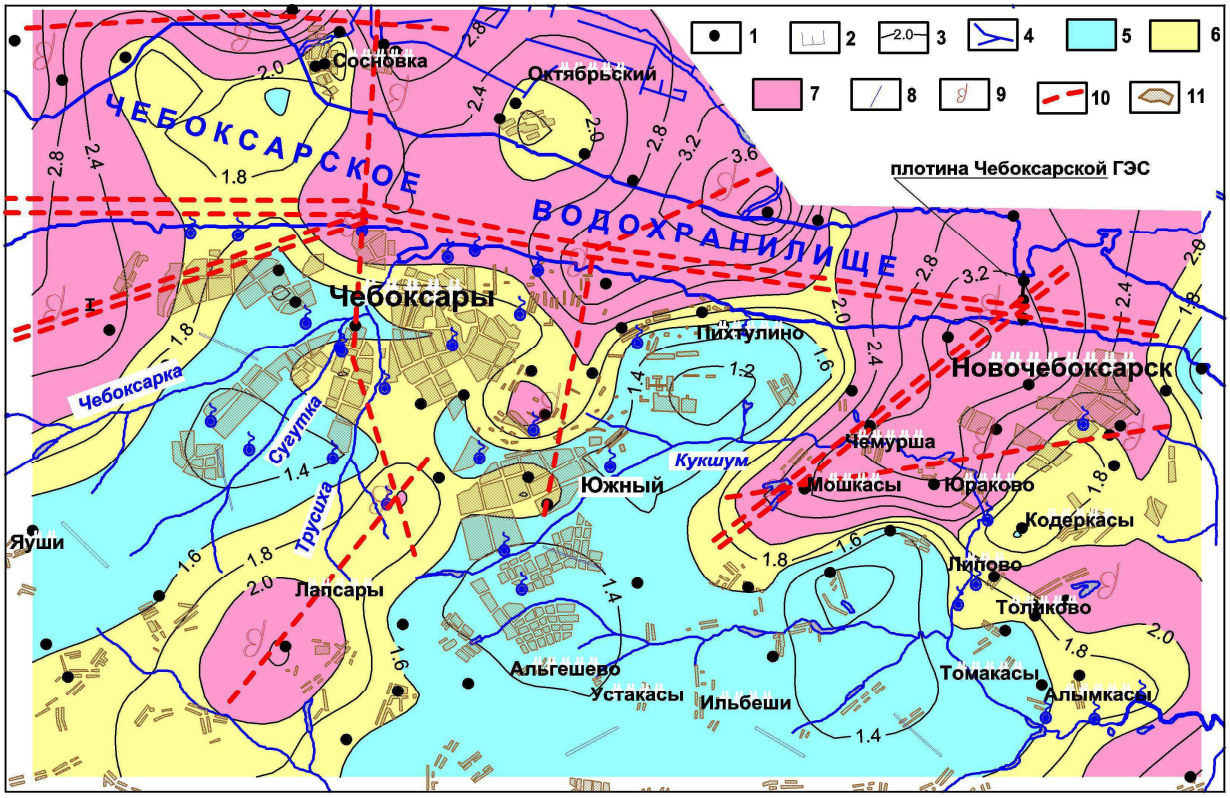

Рис.1. Модель взаимодействия пластовых вод татарских отложений и глубинных вод в районе г.г. Чебоксары и Новочебоксарска по уран - изотопным данным.; 1 - скважина; 2 - родник; 3 - изолиния $^{234}U/^{238}U = \gamma$; 4 - реки; 5 - 7 - пределы изменения величины γ, менее 1,6(5), от 1,6 до 2,0(7); 8 - направление потока пластовых вод; 9 - очаги внебрения глубинных вод; 10 - тектоническое нарушение; 11 - населенных пункт.

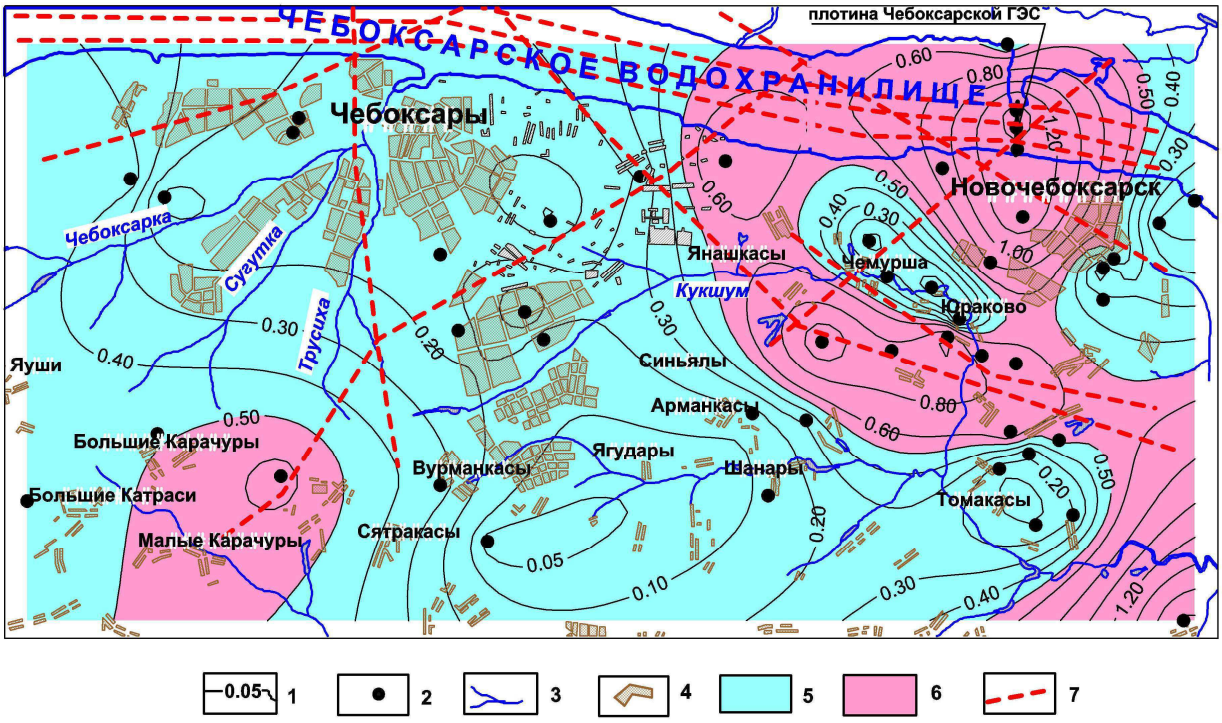

Рис. 2. Распределение бора в подземных водах татарских отложений в районе г.г. Чебоксары и Новочебоксарска; 1 - изолиния концентрации В, мг/л; 2 - скважина; 3 - река; 4 - населенный пункт; 5 - 6 - пределы изменения концентрации В, мг/л: менее 0,5(5), более 0,5(6); 7 - глубины разлома.

К статье Тихонова А.И., Тихонова В.П. И др. "Использование уран - изотопного метода для выявления активных участков глубинных разломов на Русской платформе……"

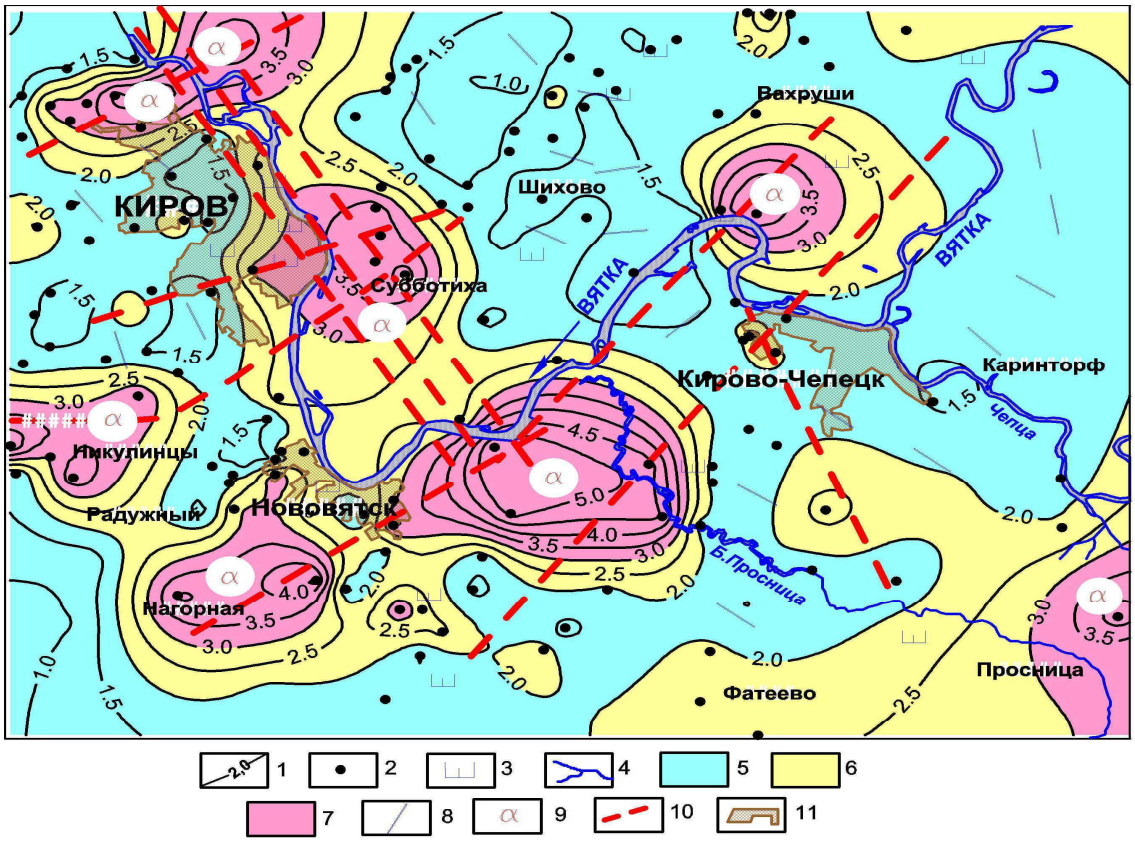

Рис.3. Модель формирования и динамики подземных вод татарских отложений в районе г. Кирова; 1 - изолиния $^{234}U/^{238}U = \gamma$; 2 - скважина; 3 - родник; 4 - река; 5 - 7 - пределы изменения величины γ, менее 2,0(5), от 2,0 до3,0(6) и более 3,0(7); 8 - направление движения пластовых вод; 9 - участки внедрения глубинных вод; 10 - тектонические нарушения; 11 - населенный пункт.

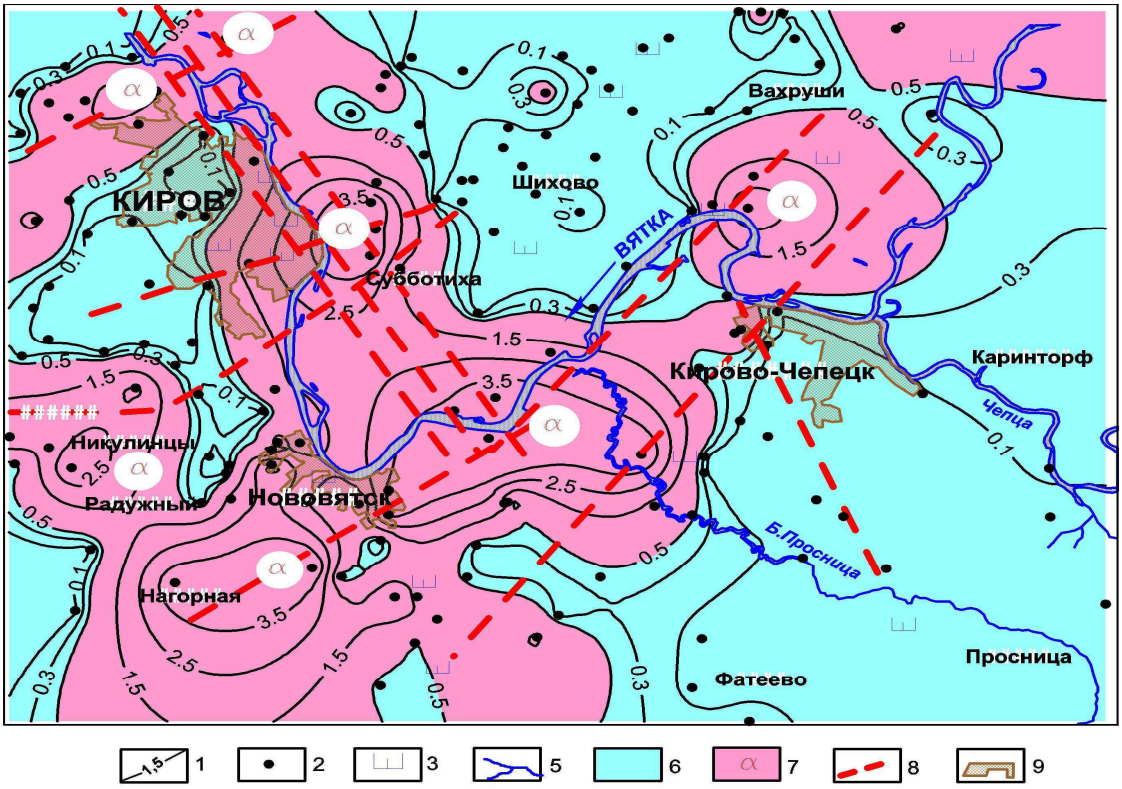

Рис.4. Распределение бора в подземных водах татарских отложений в районе г.Кирова; 1-изолиния концентрации бора, мкг/л; 2 - скважина; 3 - родник; 4 - река; 5 - содержание бора ниже ПДК(0,5 мкг/л); 6 - содержание бора выше ПДК(0,5 мкг/л), стрелка - места поступления боросодержащих вод; 7 - тектонические нарушения; 8 - населенный пункт.