

Иконников Е.А., Катаев В.Н., Ермолович И.Г. Повышение эффективности выявления водообильных трещинных зон в фациально-невыдержанных песчано-глинистых толщах // Материалы научной конференции «Комплексные проблемы гидрогеологии». – Санкт-Петербургский гос. ун-т, Санкт-Петербург, 2011. – С. 72-74.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫЯВЛЕНИЯ ВОДООБИЛЬНЫХ ТРЕЩИННЫХ ЗОН В ФАЦИАЛЬНО- НЕВЫДЕРЖАННЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ТОЛЩАХ

УДК 556.3.01

Иконников Е.А., Катаев В.Н., Ермолович И.Г.
(Пермский государственный университет)

Введение. В последние годы все более острой становится проблема снабжения населения питьевой водой. В условиях высокой антропогенной нагрузки поверхностные водные объекты, традиционно являвшиеся основным источником водоснабжения населенных пунктов, утратили свое качество и оцениваются сегодня как непригодные для хозяйственно-питьевых нужд без специальной водоподготовки. В сложившейся ситуации все больше внимание обращается на защищенные от поверхностного загрязнения подземные водоносные горизонты, природное качество воды в которых значительно выше речной. В терригенных, фациально-изменчивых толщах на фоне в целом слабой водообильности пород выделяются относительно водообильные зоны. Исследование таких зон, как возможных месторождений подземных вод с относительно высокими гидрогеологическими параметрами, сталкивается с рядом проблем, не имеющих сегодня унифицированного решения. Это проблемы установления морфометрических параметров зоны, её качественного проявления в различных литологических типах терригенных отложений, установления фильтрационных свойств различных частей зоны, проблемы установления механизма восполнения запасов воды, формирования их химического состава.

Методические аспекты. Эффективность гидрогеологического картирования во многом зависит от применяемых видов исследований. Часто общепринятые методы съемки в их традиционном исполнении не дают ожидаемых результатов, если не учтена специфика природной обстановки, определяющая комплекс методов исследований. В условиях относительно сложного (фациально-изменчивого) строения изучаемой толщи, особенно в пределах территорий с высокой степенью залесенности для повышения эффективности среднемасштабных и крупномасштабных гидро- геологосъемочных работ наиболее целесообразно в комплексе с основными видами исследований проводить геофизические, в частности электроразведоч-

ные работы и морфометрическую оценку территории. Указанные работы позволяют с относительно малыми затратами районировать территорию по литологическим типам разреза водовмещающих пород, а также картировать и изучать водообильные зоны. Указанный комплекс работ по выделению водообильных зон был разработан под руководством одного из авторов данной публикации (Иконников Е.А.), апробирован и применен с высокой степенью эффективности на территориях развития фациально-невыдержанных толщ терригенных отложений в пределах Пермского края и Кировской области.

Адаптация методического комплекса к любой новой исследуемой территории, как правило, проводится в два этапа, каждый из которых содержит подэтапы полевых и камеральных мероприятий:

– этап геофизического районирования должен содержать работы, осуществляемые методом ВЭЗ, в результате которых по характеру геоэлектрического поля выделяются соответствующие литологические типы разрезов. Обычно высокоомным участкам полей соответствуют преимущественно песчаниковый или карбонатный типы разреза, среднеомным – смешанные, а низкоомным – глинистый тип разреза. Следует учитывать и региональную тенденцию закономерного изменения уровня сопротивлений, которая, зачастую, определена соответствующей сменой литолого-фациальных особенностей стратиграфических комплексов;

– этап морфометрических исследований является эффективным дополнением к результатам геофизических работ и призван собственно для картирования и изучения предполагаемых водообильных зон. Основой морфометрического анализа является установление степени эрозионной расчлененности рельефа (по коэффициенту эрозионной расчлененности – КЭР), как индикатора новейших процессов формирования трещиноватости в результате нео- и современных тектонических движений. В результате анализа строятся карты эрозионной расчлененности рельефа исследуемой площади и по показателю степени глубинной эрозии выделяются аномалии и приуроченные к ним зоны локализации подземных вод.

По результатам обоих этапов ситуация на участках водообильных зон детализируется, как в плане, так и по разрезам, в глубину. Такая операция проводится как на основе построения карт-срезов удельных сопротивлений, так и посредством создания пространственных геолого-геофизических моделей, учитывающих литологию разреза, обводненность пород и соответствующие гидрогеологические параметры, полученные в результате полевого обследования водопроявлений и бурения гидрогеологических скважин. В итоге закартированные водообильные зоны подразделяются на типы по обстановкам их развития и гидрогеологическим (гидродинамическим, гидрохимическим) параметрам. Дополнительная надежность метода обуславливается корреляционным анализом показателей, например межженного модуля подземного стока и степени глубинной эрозии.

Общая геолого-гидрогеологическая характеристика песчано-глинистых толщ. В пределах территорий, где геологический разрез осадочного чехла характеризуется неоднородностью литологического состава, преимущественно песчано-глинистого, часто с прослоями карбонатов и сильной фациальной изменчивостью, пресные подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, в целом распространены повсеместно. В гидрогеологическом отношении комплексы песчано-глинистых отложений характеризуются неравномерной обводненностью разреза.

Производительность водозаборных скважин в песчано-глинистых толщах, оцениваемая по коэффициенту водопроницаемости водоносных отложений, не высока и изменчива. Например, по Кировской области средний показатель водопроницаемости составляет $23 \text{ м}^2/\text{сут.}$. Самые низкие показатели по эксплуатационным горизонтам $10\text{-}12 \text{ м}^2/\text{сут.}$ связаны именно с терригенными песчано-глинистыми породами. В тех районах, где в разрезе водоносных толщ присутствуют карбонаты, например трещиноватые известняки, коэффициент водопроницаемости увеличивается от 40 до $85 \text{ м}^2/\text{сут.}$, а на отдельных месторождениях он достигает $750 \text{ м}^2/\text{сут.}$ [1, 3].

В условиях развития песчано-глинистых толщ устройство водозаборов подземных вод даже с минимальным объемом отбираемой воды (первые тысячи $\text{м}^3/\text{сут.}$) экономически невыгодно, поскольку требует большого количества водозаборных скважин. Например, для водоснабжения отдельных поселков и малых городов добывается от $4,5\text{-}5 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$ до $0,8\text{-}0,9 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$ для чего используются одиночные и мелкие групповые водозаборы, образующие систему водоснабжения и насчитывающие от 57 до 21 скважины соответственно. В такой ситуации средние нагрузки на скважину минимальны – менее $0,1 \text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$

Вместе с тем, в терригенных, фациально-изменчивых толщах на фоне в целом слабой водообильности пород (преобладающие дебиты родников $0,1\text{-}0,2 \text{ л/с}$, удельные дебиты скважин десятые и сотые доли литра в секунду) выделяются водообильные зоны, дебит родников в которых достигает $50\text{-}60 \text{ л/с}$, скважин – $20\text{-}30 \text{ л/с}$, удельный дебит $15,38 \text{ л/с}$.

Как правило, эти участки приурочены к долинам малых рек и локализованы в узких линейных зонах шириной десятки и первые сотни метров. Породы в этих зонах характеризуются повышенной раздробленностью, а гидрогеологические параметры эксплуатационных горизонтов много выше, чем на прилегающих площадях. Толща относительно раздробленных пород представляет собой единый водоносный горизонт без внутренних водоупоров. Однако, трещинная проницаемость по простиранию зоны неоднозначна, что отражается в различной водообильности отложений. Данные изучения подобных зон различными методами свидетельствуют об их приуроченности к тектоническим нарушениям глубокого заложения, про-

являющимся в осадочном чехле в виде зон дробления и различных пликативных структур таких, например, как флексурные перегибы. Формирование трещиноватых зон и приуроченность к ним водообильных участков не может быть объяснено действием только структурно-тектонического фактора. Изменчивость водообильности обусловлена действием ряда факторов, главными из которых являются: литологический (тип разреза) структурно-тектонический (неотектоническая трещиноватость), геоморфологический (приуроченность зон трещиноватости к эрозионным врезам).

Анализ размещения 99 водообильных зон Пермского края, расположенных на площади развития песчано-глинистой верхнепермской толщи, показывает, что даже общеизвестные факторы формирования подземных вод такие, как тектонические структуры и неотектоника являются недостаточными для определения местоположения этих зон. Водообильные зоны располагаются на положительных структурах и на моноклиналях примерно в одинаковом процентном соотношении. Не определяет наиболее вероятное расположение зон и положение участков неотектонической активности (рис. 1, 2) [2].

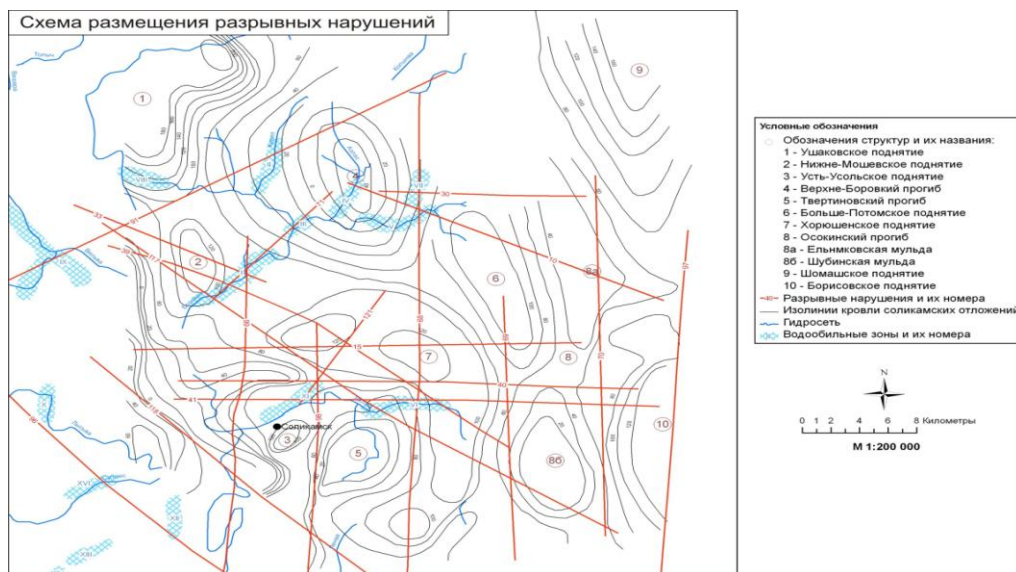


Рис. 1. Схема площадного соотношения разрывных нарушений, русловых потоков и водообильных зон (Предуральский прогиб, Соликамская впадина)

типы разреза являются наиболее восприимчивыми к тектоническим нарушениям, чем глинистый. Так, например, плотность водообильных зон на 1 км² на территории площадью 7680 км² с песчанковым типом разреза составляет 0.007 со смешанным (площадь 21360 км²) – 0.002, с глинистым (площадь 4340 км²) – 0.0005 (Пермский край).

Сегодня наличие трещинных зон в терригенных песчано-глинистых отложениях является очевидным фактом, часто подтверждаемым результатами прямых наблюдений – результатами бурения, подтверждаемым гидрогеологическим опробованием. Исследование таких зон, как возможных месторождений подземных вод с относительно высокими гидрогеологическими параметрами, сталкивается с рядом проблем, не имеющих сегодня унифицированного решения. Это проблемы установления морфометрических параметров зоны, её качественного проявления в различных литологических типах терригенных отложений, установления фильтрационных свойств различных частей зоны, проблемы установления механизма восполнения запасов воды, формирования их химического состава. Без решения этих вопросов в каждом конкретном случае ставятся под сомнение получаемые параметры для подсчета запасов подземных вод, а в ряде случаев ставится под сомнение и сам факт наличия водообильной трещинной зоны.

Опыт уточнения строения и водообильности трещинных зон

В качестве примера приведем основные результаты опыта картирования и уточнения строения водообильных трещинных зон применительно к территориям месторождений «Бахтинское» и «Мутницкое», расположенных в Кировской области (рис. 3).

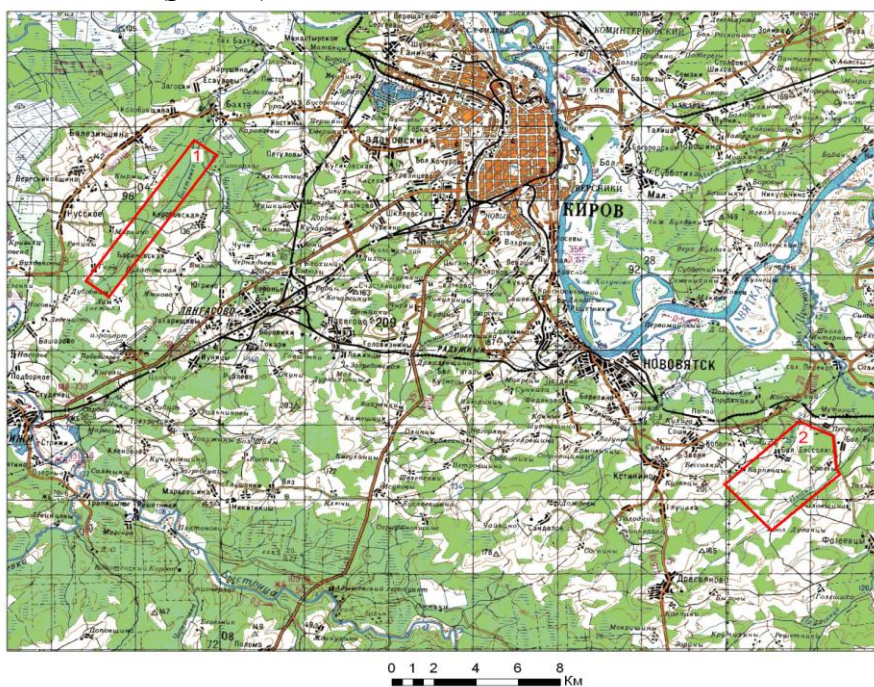


Рис. 3. Местоположение Бахтинского – 1 и Мутницкого – 2 месторождений подземных вод (Кировская область)

Комплекс работ содержал морфометрический анализ, геофизические исследования, аэрокосмогеологические исследования (АКГИ), гидрогеологическое, гидрологическое обследование, гидрохимическое опробование.

Для решения задач проведены региональные и детальные АКГИ, произведено компьютерное структурно-геологическое дешифрирование КС разных масштабов: мелко-среднемасштабное (1:1 000 000 - 1:100 000) и крупномасштабное на детальных участках (1:25 000).

Наиболее тектонически ослабленными являются геодинамические зоны и участки на границах неотектонических блоковых структур, и их осевых линиях, где наблюдается наибольшее сгущение и пересечение линеаментов и мегатрещин, отмечается наибольшая расчлененность рельефа и в целом повышенная неотектоническая активность.

Для исследуемых территорий проведен анализ плотности линеаментов и мегатрещиноватости (по их протяженности на единицу площади) и по этим показателям проведена оценка неотектонической активности территории. Обработка проводилась с применением модуля Spatial Analyst. Геоинформационное картографирование проводилось программными средствами Arc View GIS и Arc GIS (рис. 4-6).

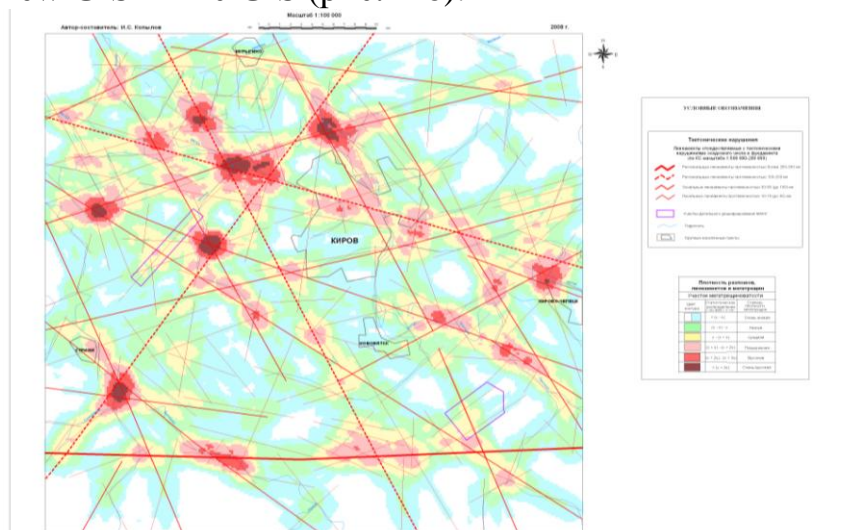


Рис. 4. Карта региональной тектонической трещиноватости по дешифрированию космических снимков

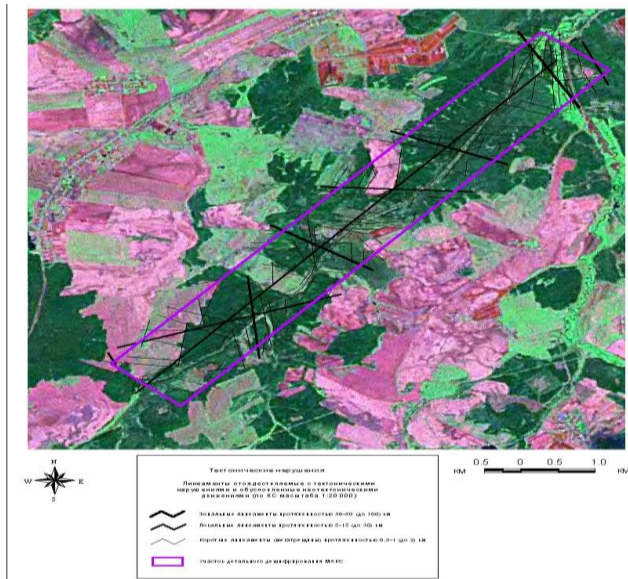


Рис. 5. Карта детального дешифрирования космоснимков участка р.Бахтинка

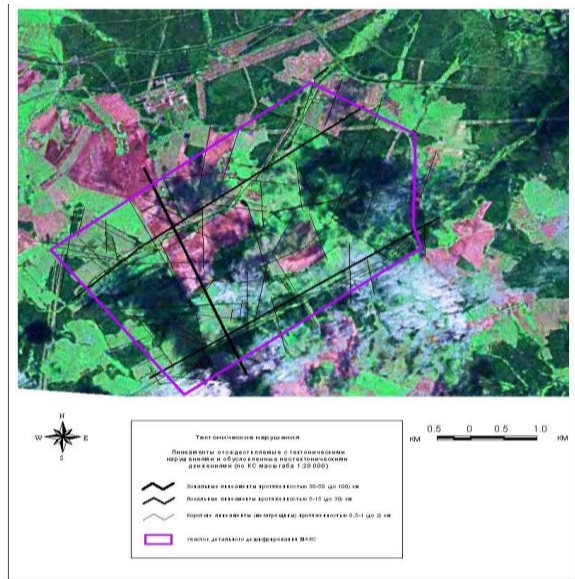


Рис. 6. Карта детального дешифрирования участка р.Мутница

Обычно, на этапе геофизического районирования территории в целях картирования водообильных трещинных зон применяется метод ВЭЗ, хорошо зарекомендовавший себя. Однако, учитывая, что водообильные, трещиноватые зоны в толще отложений характеризуются локальными минимумами аномалий силы тяжести, локальными максимумами естественного поля и зонами потери корреляции и повышенными значениями скоростей упругих волн, в качестве эксперимента, был применен комплекс профильной сейсморазведки, гравиметрии, электроразведки. Участки профилей, где совпадают указанные аномалии по различным геофизическим данным, выделены на сводных геофизических разрезах.

Гравитационное и естественное электрическое поле обработаны в системе векторного сканирования (VECTOR), созданной в Горном институте УрО РАН, которая позволяет получать трехмерную картину строения недр и локализовывать в пространстве источники аномалий с определением их эффективных глубин.

Система VECTOR предназначена для площадной интерпретации, поэтому учитывая, что наблюдения выполнялись по профилям, осуществлялась квазитрехмерная трансформация. Для этого одномерные (профильные) исходные данные преобразованы в двумерную матрицу данных путем сдвига значений поля в направлении перпендикулярном направлению профиля до тех пор, пока массив точек не образует квадратную матрицу. Далее квазитрехмерные поля подвергнуты процедуре векторного сканирования.

Результаты трансформаций представлены на рис. 7. Вертикальная ось на векторных диаграммах оцифрована в значениях коэффициента трансформации, поэтому глубинная приуроченность выделенных аномалий носит качественный характер. На разрезах выделены зоны пониженных зна-

чений гравитационного поля, которые отождествляются с разуплотненными и трещиноватыми участками разреза, и зоны относительно положительных значений поля ЕП – возможные зоны субвертикальных перетоков подземных вод.

Участок Бахтинский

Согласно результатам исследований по выявлению источников подземных вод для резервного и аварийного водоснабжения г. Кирова, проведенных Вятской ГРЭ в 2005-2006 гг., перспективный участок Бахтинский находится в зоне влияния Филейской и, отчасти, Быстрицкой флексур, которые в свою очередь являются элементами сложнодислоцированной структуры Вятского мегавала. Участок Бахтинский, выявленный в процессе поисковых работ, является наиболее водообильным в пределах одноименной площади. Участок расположен на уступе Кстининской структурной террасы, между окончаниями названных флексур, ориентирован по линии их простираения, пространственно соединяя оси этих структур. Повышенная водообильность участка объяснялась наличием дизъюнктивных нарушений, сопровождающих Филейскую флексуру и в частности, наличием тектонического разлома, проходящего вдоль р. Бахтинки. По данным дешифрирования аэрофотоснимков, пространственно разлом в верхнем и среднем течении реки, практически совпадает с её тальвегом, отклоняясь в бассейне нижнего течения реки к северо-востоку.

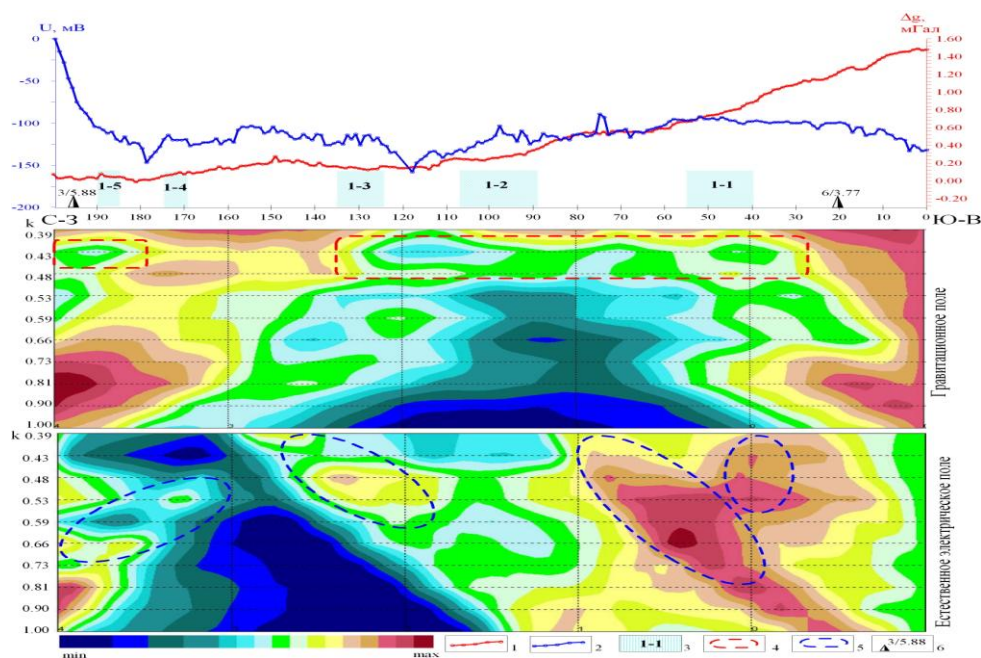
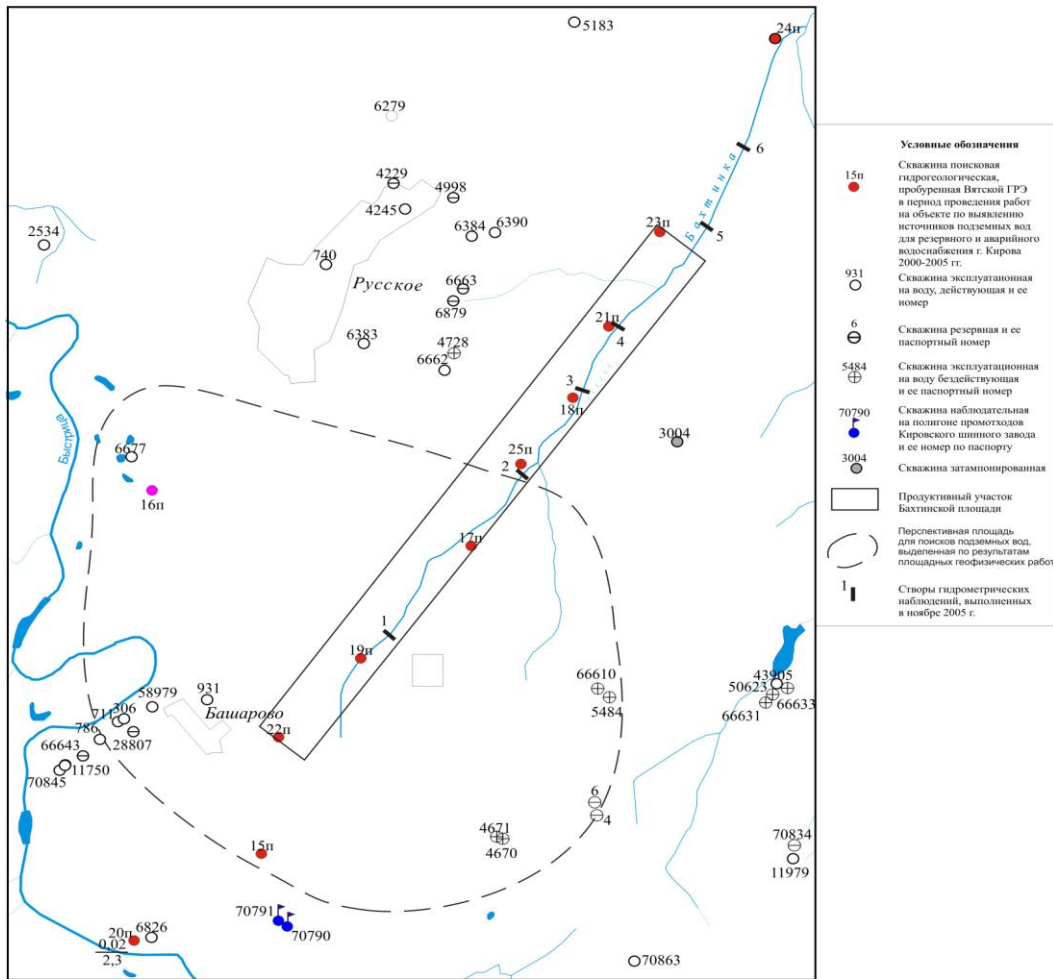


Рис. 7. Квазитрехмерные диаграммы полей по профилю 1 (Мутницкий участок): 1 – гравитационное поле, 2 – естественное электрическое поле, 3 – зоны повышенной фильтрации, выделенные по локальным аномалиям, и их номера, 4 – зоны разуплотнений в верхней части разреза, 5 – зоны возможных субвертикальных перетоков подземных вод, 6 – скважины (числитель – номер скважины, знаменатель – дебит в л/с)

В стратиграфическом отношении продуктивная водоносная толща (на глубину зоны пресных вод) представлена отложениями котельнической серии северодвинского горизонта верхней перми, подразделяемой на слободскую и юрпаловскую свиты. Нижележащие уржумские отложения, вскрываясь на глубинах свыше 65-70 м, большей частью содержат воды повышенной минерализации.

Предполагается, что перспективность Бахтинского участка обусловлена зонами и участками повышенной трещиноватости пород северодвинского терригенного комплекса, генетически связанными с тектоническими дислокациями. Водоносный северодвинский терригенный комплекс P_{2sv} в пределах Бахтинского участка распространен повсеместно и является первым от поверхности водоносным гидрогеологическим подразделением, за исключением долины реки, где залегает под аллювиальным водоносным горизонтом (верхнечетвертично-современный аллювиальный горизонт Q_{III-IV}). Следует отметить, что по данным бурения скважин в долине р.Бахтинки в разрезе аллювия встречаются суглинистые прослойки и в связи с этим аллювиальные отложения могут быть локально обводнены. Грунтовые воды аллювия не защищены от загрязнения с поверхности, в них присутствуют в повышенных концентрациях железо и марганец. Воды имеют прямую связь с поверхностными водами и являются одним из источников восполнения эксплуатационных запасов продуктивной водоносной толщи.

**Карта фактического материала
Бахтинская площадь**
Масштаб 1: 50 000



ФГУП “Волгагеология” Вятская геологоразведочная экспедиция	Отчет о результатах гидрогеологических работ по выявлению источников подземных вод для резервного и аварийного водоснабжения г. Кирова, выполненных Вятской ГРЭ в 2005-2006 гг	
	Ответственный исполнитель: Т.А.Мальцева	2006г.
Приложение 1 Лист 1	Карта фактического материала. Бахтинская площадь.	
Масштаб:1:50 000	Использована топооснова 1:50 000	
Составил Чертил	Мальцева Т.А. Кормушкин С.Н.	

Водоносный северодвинский терригенный комплекс сложен аргил-литоподобными глинами, алевролитами, песчаниками. В комплексе в виде прослоев присутствуют мергели и известняки. Водовмещающими породами являются, главным образом, песчаники и песчанистые алевролиты, залегающие среди глин и глинистых алевролитов, весьма редко – мергели и известняки. В долине р.Бахтинка, отмечена повышенная «песчанность» северодвинских отложений – суммарная мощность песчаников и песчанистых алевролитов, по данным скважин, как правило, составляет 25÷40 %, достигая в отдельных случаях 50 %.

Водоупорными породами в кровле водоносного комплекса являются одновозрастные глины и четвертичные суглинки. В долине реки Бахтинки

водоупорная кровля между водовмещающими породами комплекса и обводненным аллювием отсутствует или имеет малую мощность при повышенной трещиноватости, что в совокупности создает благоприятные условия для питания подземных вод комплекса. Нижним водоупором для подземных вод водоносного комплекса являются глины верхнеуржумских отложений.

Исследователи отмечают, что интенсивная трещиноватость пород на участке вдоль р.Бахтинки, фиксируется по всему разрезу, а следовательно вся толща является водовмещающей, вне зависимости от наличия и литологического состава прослоев. Комплекс содержит напорно-безнапорные воды: в долине р. Бахтинка воды комплекса обладают наибольшим напором, их уровни устанавливаются у поверхности земли (в инт. 0÷5 м), на водоразделах и возвышенных прибортовых участках толща частично дренирована, а верхняя часть водоносного комплекса часто содержит безнапорные воды. Глубина залегания статического уровня составляет от 10 до 36 м.

Химический состав подземных вод северодвинских отложений зависит от условий их залегания. В условиях активного водообмена – в зоне дробления отложений, выявленной вдоль р.Бахтинки и в долинах рек при взаимосвязи с грунтовыми водами аллювия или поверхностными водами - подземные воды по химическому составу гидрокарбонатные кальциевые-магниевого с минерализацией 0,1-0,3 г/л, общей жесткостью 0,3-5,0 мг-экв/л и рН 7,0-8,0 (поисковые скважины в долине р.Бахтинки). По данным поисковой скважины, пробуренной в устье р. Бахтинки, за пределами выявленной зоны трещиноватости, подземные воды хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 0,43 г/л, жесткостью 0,6 мг-экв/л, рН 8,9, повышенной концентрацией бора (2,3 мг/л).

Зона дробления северодвинских отложений вдоль реки Бахтинка выявлена на диаграммах КС и визуально (по керновому материалу) практически по всем скважинам. Ширина зоны, ориентировочно оценена по расстоянию между скважинами в направлении, нормальном р.Бахтинке и составляет около 600 м.

Результаты бурения поисковых скважин подтверждают повышенную водообильность толщи в выявленной зоне активной трещиноватости. Так, в поисковых скважинах, пробуренных в пределах границ участка вдоль р.Бахтинки и предположительно «попавших» в зону активной трещиноватости отложений, дебиты составили 5,2-10,7 л/с при понижениях 2,0-7,4 м. Удельные дебиты при этом составили 1,7÷3,9 л/с/м. За пределами зон активной трещиноватости водообильность и фильтрационные свойства отложений значительно ухудшаются.

Выявленная вдоль р. Бахтинки продуктивная водоносная зона дробления северодвинских отложений схематизирована, как пласт-полоса в полу-

ограниченной многослойной толще, характеризующейся фильтрационной неоднородностью.

Результаты исследований авторов позволили детализировать строение зоны и особенности её водообильности.

1. Предполагаемая зона дробления пород в пределах Бахтинского участка имеет достаточно сложное строение и контролируется не только разломом, зафиксированным вдоль русла реки Бахтинки, но и разломами в основном СЗ-ЮВ простирания, расположенными нормально или субнормально к вдольрусловому разлому. При этом, элементы основного дизъюнктивного каркаса участка не являются одноранговыми. Зональными разломами, ориентированными с СЗ на ЮВ и идентифицируемыми по зональным линеаментам, протяженностью 30-50 км, вся площадь участка делится на 4 условных блока (рис. 8). Учитывая наличие дизъюнктивов, ориентированных нормально и субнормально к направлению локализованного подземного стока в пределах долины р. Бахтинки, не лишено смысла предположение о барражировании стока и его частичном перераспределении.

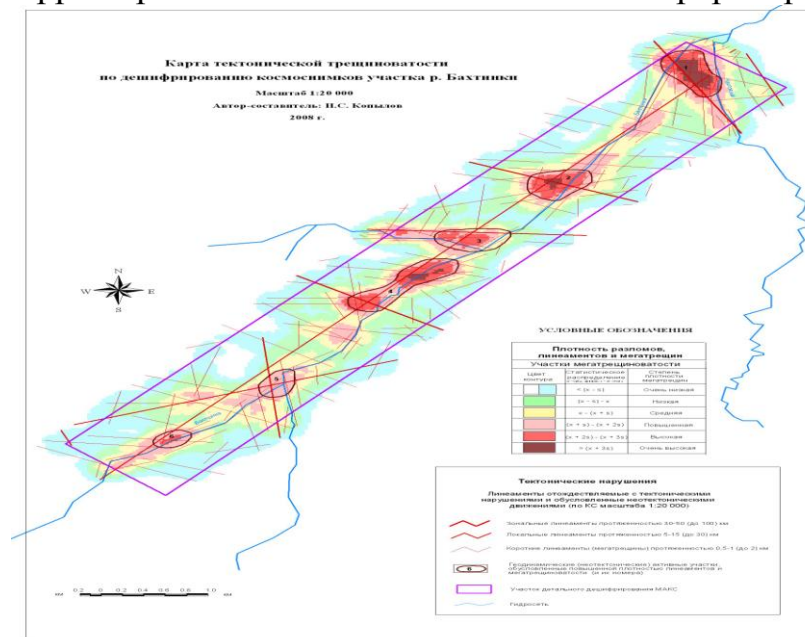


Рис. 8. Карта тектонической трещиноватости участка р.Бахтинка

Вдольрусловой разлом по данным АКГИ отнесен к локальному рангу и зафиксирован по локальному линеаменту, протяженностью 10-15 км.

Косвенным доказательством блочности строения терригенной толщи является факт, отмеченный на этапе предыдущих исследований, а именно: при среднем расстоянии между скважинами $\sim 1,5$ км разрезы пробуренных, даже соседних, скважин достаточно плохо коррелируются между собой, несмотря на то, что литологические разности четко выражены на каротажных диаграммах. Сложность корреляции связывалась помимо факта литолого-фациальной невыдержанности отложений с наличием тектонических нарушений, суть проявлений которых не была определена.

Межразломные блоки осложнены мегатрещинами протяженностью 0,5-1,0 км, сохраняющими ориентировку региональных и локальных разломов и образующими сгущения в основном в периферийных частях блоков. Плотность мегатрещин неоднородна по пространственному распределению, что определяется 1) собственно блочностью строения массива, 2) дифференциацией неотектонических движений относительно блоков.

Следует учитывать, что в пределах исследуемой территории, выделенные зоны повышенной плотности трещин, например методами аэрокосмогеологических исследований (АКГИ), не могут однозначно интерпретироваться, как водообильные на всем своем протяжении. В пределах этих зон водообильными являются только участки, где пространственно совмещаются высокая плотность мегатрещин, выявленных методами АКГИ и высокие коэффициенты КЭР. Здесь трещины получают дополнительное раскрытие за счет вертикальных подвижек пород соответствующего блока, становятся более гидрогеологически активными, что отражается и в локальном возрастании модуля подземного стока в 2-2,5 раза.

2. Блоковая дифференциация неотектонических движений дополнительно к методам АКГИ (выделение внутриблоковой локальной плотности мегатрещин) фиксируется и по коэффициентам эрозионной расчлененности рельефа (рис. 9).

В данном случае, степень эрозионной расчлененности рельефа, являющаяся отражением интенсивности относительных неотектонических подвижек, распределена по территории Бахтинского месторождения и на прилегающих площадях не равномерно, а зонально. Зональность обусловлена местоположением тектонических блоков, ограниченных относительно активными разрывными нарушениями зональной категории. В пределах зоны повышенных значений КЭР выделяются участки с аномально высокими КЭР. Диагонально ориентированная к долине р.Бахтинки зона СЗ-ЮВ ориентировки с относительно высокими значениями коэффициентов (выше 10) захватывает южный и средний блоки и трассируется по выделенным участкам №№ 1, 2, 3, где КЭР изменяется от 10 до 30.

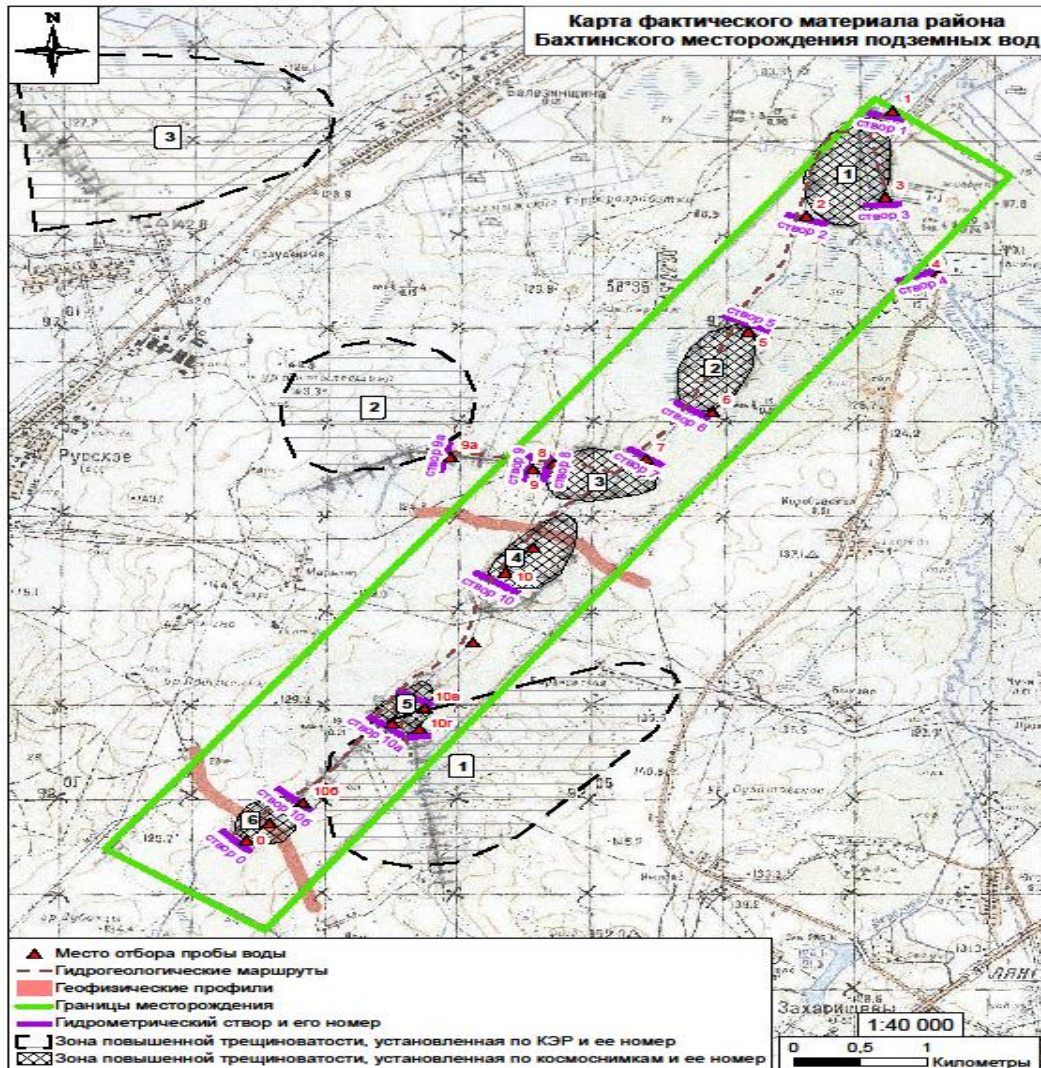


Рис. 9. Карта фактического материала района Бахтинского месторождения подземных вод

Участок №1, характеризующийся значениями КЭР от 10 до 25, пространственно приурочен к южной части (условный блок «Южный»), сочленяется с участком № 5 повышенной плотности мегатрещин и граничит с участком повышенной плотности мегатрещин № 6.

Именно здесь, в местах пространственного совмещения участков с высокими коэффициентами КЭР и высокой плотности мегатрещин, трещины получают дополнительное раскрытие за счет вертикальных подвижек пород соответствующего блока, становятся более гидрогеологически активными, что отражается и в локальном возрастании модуля подземного стока с 2,8 до 4,1 л/с/км². (рис. 10) и в увеличении удельных водопритоков подземных вод в русло реки с 17,0 до 45,2 л/с (рис. 11). Общая картина изменения расхода и минерализации руслового потока представлена на рис. 12.

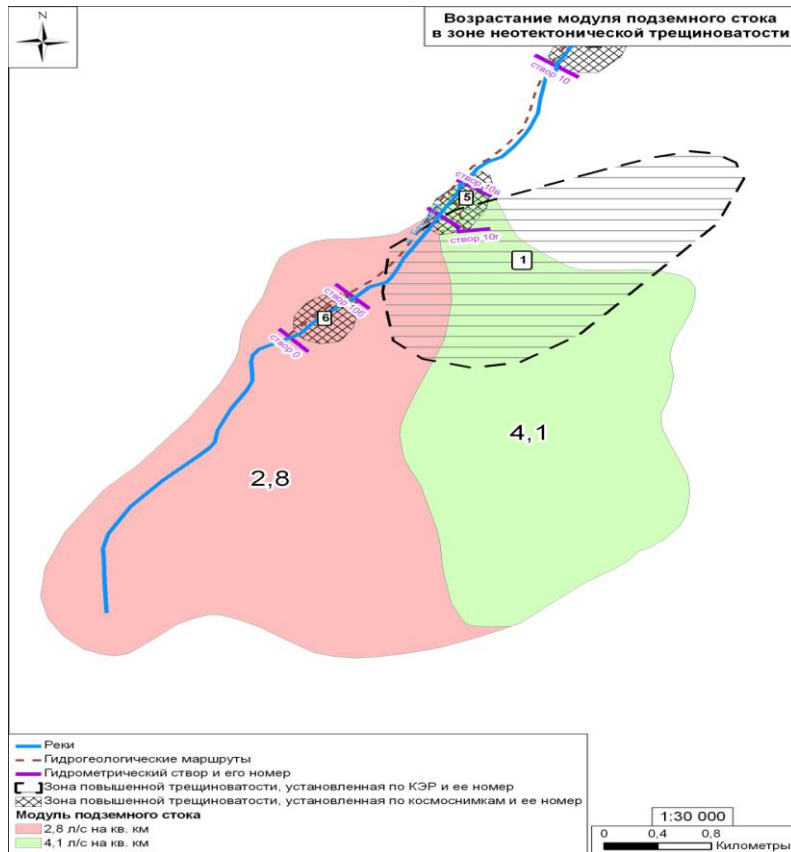


Рис. 10. Возрастание модуля подземного стока в зоне неотектонической трещиноватости

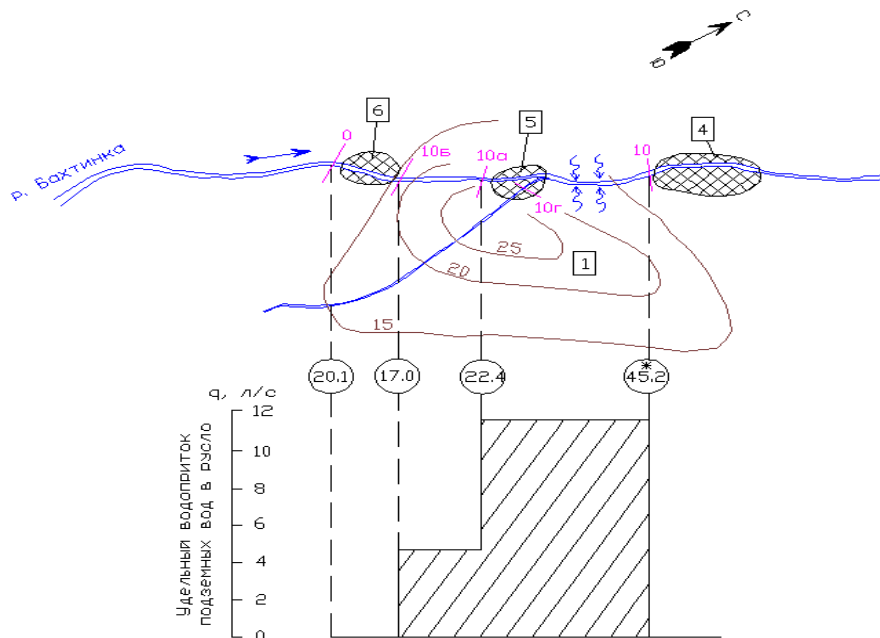


Рис. 11. Удельный водопристок подземных вод в русло р. Бахтинки в зоне повышенной трещиноватости №1, установленной по КЭР

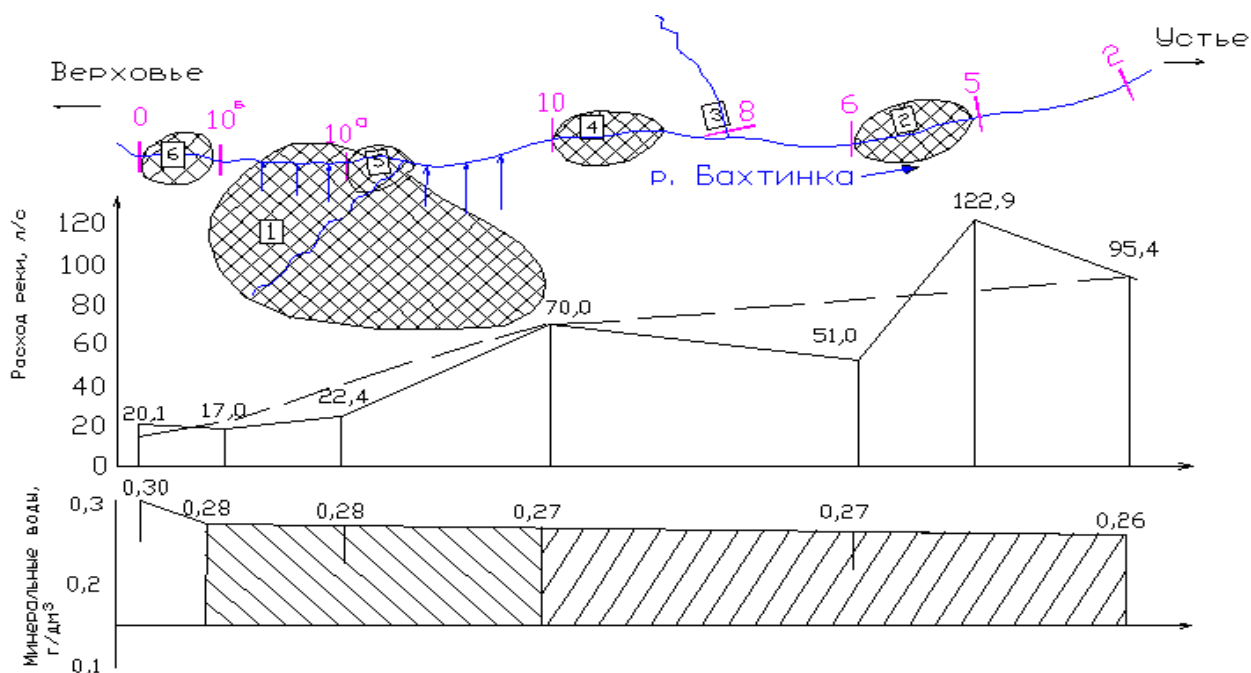


Рис. 12. Изменение расхода и минерализации руслового потока р. Бахтинки от верховьев к устью

3. Морфологически, зона активной трещиноватости, обуславливающая повышенную водообильность участка, не образует единого трещинного пространства линейного типа. В плане это зона четкообразного сочленения отдельных участков повышенной плотности трещин и слабораздробленных (относительно «монолитных») участков, ориентированная в целом соответственно простиранию вдольруслового разлома. Так отложения, вскрытые скважинами, пробуренными в пределах участков с повышенной плотностью трещин по данным АКГИ с номерами №№ 6, 5, 4 соответственно, характеризуются относительно интенсивной трещиноватостью и относительно высокими гидродинамическими показателями.

Породы, пройденные скважинами, между участками повышенной трещиноватости, характеризуются по данным описания керна почти полным отсутствием трещин.

4. Трещинное пространство южной части Бахтинского участка в пределах условно выделенного южного блока, локально «омоложено» в результате неотектонических движений, что проявилось в наиболее высоких гидродинамических показателях, полученных по скважинам (дебиты 10,7 и 7,8 л/с; удельные дебиты 1,5 и 3,9 л/с/м соответственно) и по результатам гидрогеологических расчетов и гидрологических замеров (возрастание модуля подземного стока, рост удельного водопритока, увеличение расхода руслового потока).

5. Химический состав подземных вод в пределах участков повышенной плотности трещин сопоставим, но не идентичен. Например, в скважине № 17 (участок, выявленный по АКГИ № 6) воды гидрокарбонатно-кальциево-

магниевого с минерализацией 0,12 г/л, общей жесткостью 2,09 мг-экв/л и рН 7,89. В скважине № 25 (участок, выявленный по АКГИ № 5) воды гидрокарбонатно-кальциево-натриевые с минерализацией 0,20 г/л, общей жесткостью 3,25 мг-экв/л и рН 7,4, а в скважине № 21 (участок, выявленный по АКГИ № 4) воды гидрокарбонатно-кальциево-сульфатные с минерализацией 0,13 г/л, общей жесткостью 1,8 мг-экв/л и рН 7,1. При сравнении содержания отдельных катионов и анионов в водных пробах, например из скважин № 17 и № 25, отмечается увеличение содержания Na^+ , Mg^{2+} и SO_4^{2-} в 2,5 раза, а HCO_3^- почти в 2 раза в пробах из скважины № 25.

И фациальная изменчивость и изменчивость химизма подземных вод по количественному содержанию компонентов свидетельствует о различных условиях водообмена на относительно коротких расстояниях по направлению подземного стока.

Химический состав поверхностных вод по результатам опробования руслового потока р.Бахтинки не претерпевает резких, скачкообразных изменений. Однако и здесь воды, отобранные в пределах гидрологических створов «на входе» - перед границей участков повышенной плотности трещин и «на выходе» имеют различия. Эти различия, например по пробам на входе в участок повышенной плотности трещин №6, и на выходе из участка - проба «10б» заключаются в уменьшении содержания гидрокарбонат-иона, кальция, магния, снижения значений общей жесткости, содержания общего железа.

Участок «Мутницкий»

В результате поисково-разведочных работ, проведенных в районе к югу и юго-востоку от г.Нововятска в 1977-1979гг. были выделены три участка, перспективные для выявления эксплуатационных запасов подземных вод. Среди выделенных участков «Жуковский», находящийся в долине р.Мутница и «Сафроновский», расположенный в долине р. Бердяги территориально приурочены к исследуемому на современном этапе участку «Мутницкий» Мутницкого месторождения подземных вод.

В пределах района повсеместно распространены отложения татарского яруса. Отложения татарского яруса подразделяются на два подъяруса. В составе нижнетатарского подъяруса выделяют уржумский горизонт, подразделяющийся на нижнеустыинскую и сухонскую свиты, а верхнетатарский подъярус на отложения слободской и юрпаловской свит.

Для нужд водоснабжения основной интерес представляют воды зоны активного водообмена, стратиграфически связанной с юрпаловскими, слободскими и сухонскими отложениями татарского яруса.

Среди водоносных комплексов уржумский карбонатно-терригенный комплекс является наиболее перспективным.

Проведенные буровые работы и геофизические исследования свидетельствуют о сложном строении пород комплекса, невыдержанности литологического состава по площади и плохой коррелируемости по геофизическим данным. Водообильность комплекса обусловлена фильтрационной неоднородностью пород и литолого-фациальной изменчивостью разреза.

Характеризуя участок «Жуковский», расположенный вдоль долины р.Мутница и по аналогии с ним участок в долине р. Бердяги, исследователи отмечали, что в строении участков основное участие принимают сухонские отложения, в которых основным коллектором пресных подземных вод являются песчаники, толща которых залегает в основании свиты. Кровля водовмещающих пород залегает в пределах долины р.Мутница на глубинах 63-67м, а в долине р.Бердяги – 43-50м. Подземные воды обладают напором, их уровни устанавливаются у самой поверхности земли, а в долине р.Мутница скважина № 3 характеризуется самоизливом (+0,58м). Водообильность участка характеризуется по результатам откачек (табл.4.1).

Таблица 1.

Водообильность скважин Жуковского участка

№№ скв.	Интервал опробования, м	Глубина установленного уровня, м	Результаты откачек			Коэффициент водопроницаемости, м ² /сут
			дебит, л/сек	понижение, м	удельный дебит, л/сек	
3	48,0-86,0	+0,58	5,88	5,49	1,07	150
6	8,0-71,0	0,1	3,77	4,36	0,86	116

Необходимо отметить, что водопроницаемость сухонских отложений зонально уменьшается от прирусловой зоны к водоразделам. Максимальные значения водопроницаемости (150 м²/сут. и выше) зафиксированы в узкой прирусловой зоне р.Мутница (от скважины № 2 – выше по течению от существующего водозабора, до скважины № 3 вниз по течению у п.Жуки – практически на окончании водозаборного ряда). В долине р.Плоски и в долине р.Бердяга четко выраженной зоны повышенной водопроницаемости по аналогии с р.Мутница, выявлено не было.

Подземные воды характеризовались преимущественно гидрокарбонатно-натриево-магниевым составом (табл.4.2).

Таблица 2.

Химический состав подземных вод

№№ скв.	Интервал опробования, м	Сухой остаток, мг/л	Жесткость, мг-экв./л	Компоненты, мг/л					
				Na+K	Ca	Mg	Cl	SO ₄	HCO ₃
3	48,0-86,0	303	1,28	94,53	9,22	9,97	7,09	4,12	311,19
6	8,0-71,0	310	3,4	93,59	18,04	30,38	10,28	12,3	246,51

В 1980-1981гг. Кировской ГПП в процессе поисковых работ для водоснабжения г.Нововятска в долине рек Плоски и Бердяга были пробурены

три скважины (№№ 23, 21, 25), гидрогеологические исследования которых подтвердили перспективность площади.

Были вскрыты на глубину 120-130м породы уржумского водоносного карбонатно-терригенного комплекса. Воды комплекса напорные – статические уровни установились на глубинах +0,9-5,5 м, величина напора изменялась от 36,3 до 38,9м. Дебиты скважин варьировали от 7,14 до 10 л/с при понижениях 4,45-14,4 м. Удельные дебиты составляли 0,69-1,6 л/с. Коэффициенты водопроницаемости изменялись от 10 до более 200 м²/сут.

Вскрытые пресные подземные воды имели гидрокарбонатно-натриево-магниевый и гидрокарбонатно-магниево-натриевый состав, минерализацию 0,27-0,33 г/л. Водоносный комплекс имеет преимущественно инфильтрационное питание за счет атмосферных осадков, а разгружается в речную сеть.

В результате анализа результатов исследований, выполненных ранее, сопоставления этих результатов с результатами выявления зон трещиноватости методами морфометрической оценки территории по коэффициенту эрозионной расчлененности рельефа (КЭР) и методами аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) были сформулированы выводы, изложенные ниже.

1. Результаты выявления зон трещиноватости методами аэрокосмогеологических исследований (АКГИ) свидетельствуют о том, что участок «Мутницкий» в региональном плане приурочен к центральной части крупного тектонического блока ромбовидной формы, ограниченного с юга региональным разломом, а с юго-запада, северо-запада и северо-востока зональными дизъюнктивными (граф.П. 1). В пределах участка долины р.Мутница и р.Плоски заложены вдоль дизъюнктивов локального типа, протяженностью 5-15км ЮЗ-СВ простирания. Юго-западная оконечность участка осложнена тектоническим нарушением зонального типа ЮВ-СЗ простирания, пересекающим участок в 1,5-2,0км юго-западнее условной оси «Фатеево-Бол. Бесселята» и разделяющим площадь на два блока – «северо-восточный» и «юго-западный». Помимо тектонических нарушений зонального и локального типов долины р.Мутницы и р.Плоски, а также тектонический блок между долинами осложнен мегатрещинами преимущественно СВ и СЗ ориентировок, соответственно ориентировкам более крупных нарушений сплошности.

В пространстве мегатрещины образуют скопления, формируя участки повышенной плотности дизъюнктивов. В пределах Мутницкой площади выявлено 6 участков повышенной плотности трещин, локализованных в долинах р.Мутницы и р.Плоски (рис. 2.2; граф.П. 3). Максимальными значениями плотности дизъюнктивных нарушений характеризуются участки №№ 9 и 10 (долины р.Мутница и р.Плоски соответственно) в южной части площади в местах пересечения тектоническим нарушением зонального типа локальных разломов, по которым заложены долины рек.

2. Результаты морфометрической оценки территории по коэффициенту эрозионной расчлененности рельефа (КЭР) свидетельствуют о том, что неотектонические подвижки наиболее ярко проявились в пределах «северо-восточного блока» – площади, расположенной северо-восточнее оси «Фатеево-Бол. Бесселята» и вдоль зоны крупного субширотного тектонического нарушения, ограничивающего в региональном плане Мутницкую площадь с юга (рис. 4.1). Участки неотектонической активизации дизъюнктивов, приразломных и внутриблоковых трещин ограничены по площади изолиниями значений КЭР 25-30 при фоновых значениях КЭР от 10 до 15. В пределах района расположения Мутницкого участка методами морфометрической оценки территории по коэффициенту эрозионной расчлененности рельефа выявлено два участка: № 6 в 0,5 км к северо-западу от границы п.Фатеево и № 5 приуроченный к центрально-юго-восточной части Мутницкого участка, захватывающий долину р.Плоски и пространственно совмещенный с участками повышенной плотности трещин №№ 11 и 12, выявленными по данным АКГИ (граф.П. 10). Центральная часть участка № 5 расположена на левом борту долины р.Плоски. Участок имеет изометричную форму. Размер участка в плане 2х2,5 км. Относительно длинная ось участка ориентирована вдоль долины р.Мутница и р.Плоски. В пределах долины р.Плоски протяженность участка составляет 1,7-1,8 км. Практически в центре интервала в пределах долины р.Плоски расположена скважина № 21.

3. Локальное неотектоническое «омоложение» трещинной дренажной системы в пределах зоны № 5, выявленной по данным КЭР и пространственно совпадающего с участками №№ 11, 12 (АКГИ) в долине р.Плоски подтверждается увеличением руслового стока за счет подтока подземных вод на 32,5 л/с и снижением минерализации поверхностных вод на участке с 0,32 до 0,28 г/дм³ (рис.4.17).

Подтверждением повышенной водообильности отложений в пределах зоны неотектонической активности является значение дебита скважины № 21, пробуренной в 1980 г. на левом берегу р. Плоски /Пузанова, Вдовикова, 1981/. Значение соответствует 10,0 л/с. Дебит скважины № 6, пробуренной в 1978 г. в ходе поисков подземных вод на данной площади /Пузанова, 1979/ и находящейся за пределами зоны № 5 и за пределами Мутницкого участка в 0,6 км от северо-восточной границы участка вниз по течению, на левом берегу р. Бердяга составлял 3,77 л/с.

4. Аналогично условиям в пределах Бахтинской площади, выявленные участки повышенной плотности трещин в пределах Мутницкой площади свидетельствуют о том, что морфологически, «зоны активной трещиноватости», обуславливающие повышенную водообильность как в прирусловой зоне р. Мутница, так и в прирусловой зоне р. Плоски не образуют единого трещинного пространства линейного типа. В плане эти зоны представлены линейным чередованием участков повышенной и участков по-

ниженной плотности трещин с различными гидродинамическими показателями. Связано это не только с давно установленным фактом литолого-фациальной изменчивости толщи по простиранию, а в некоторых случаях и по разрезу, но и обусловлено особенностями структурно-тектонического каркаса водовмещающего массива, трещиноватость которого локально активизирована в неотектонический этап. Примером являются значения дебитов эксплуатационных скважин водозабора на р.Мутница, где на фоне значений дебитов 20-25,0 м³/час (например скважины 70874, 70875, 70879, 70880, расположенных в зоне АКГИ № 9) фиксируются дебиты до 48,0; 80,0; 200,0 м³/час.

Сводные сравнительные характеристики результатов работ по выделению и картированию зон и участков повышенной степени трещиноватости (Бахтинский и Мутницкий участки)

Наименование факторов и показателей	Бахтинский участок	Мутницкий участок	Примечания
I. Структурно-тектоническое строение. Результаты аэрокосмогеологических исследований (АКГИ)			
1. Приуроченность к пликативным и дизъюнктивным дислокациям различного порядка	Блочное строение толщи, высокая степень раздробленности дизъюнктивами зонального и локального рангов. Зона влияния Филейской и Быстрицкой флексур, влияние тектонических нарушений, сопровождающих флексуры, наличие вдольруслового (р.Бахтинка) тектонического нарушения локального ранга	Блочное строение толщи, средняя степень раздробленности дизъюнктивами регионального, зонального и локального рангов. Наличие вдольрусловых (р.Мутница, р.Плоски) тектонических нарушений локального ранга	
2. Наличие локальных участков повышенной плотности мегатрещин в местах пересечений разноранговых дизъюнктивов, выделяемых по данным АКГИ	Выделено 6 участков в придолинной зоне р.Бахтинки. Размер участков 0,3-0,5 x 1,0-1,2км. Участки №№ 1, 2, 4 (центральная и северная часть площади) характеризуются высокими показателями плотности мегатрещин – 5-6 баллов.	Выделено 6 участков в придолинных зонах р.Мутница и р. Плоски. Размер участков 0,2-0,4x1,0-1,6 км. Участки №№ 9, 10 (южная часть площади, р.Мутница и р.Плоски соответственно) характеризуются высокими значениями плотности мегатрещиноватости – 5-6 баллов.	Фоновое значение плотности мегатрещин вне участков повышенной плотности составляет 2 (низкая плотность), реже 3 (средняя плотность) балла. Локальные участки с высокой плотностью мегатрещин располагаются на пересечении вдольрусловых разломов локального ранга зональными разломами.
II. Показатели морфометрического анализа			
3. Наличие зон и участков неотектонической активизации трещинной структуры по интенсивности эрозионного расчленения рельефа	Диагонально ориентированная к долине р.Бахтинки зона СЗ-ЮВ ориентировки. Юго-восточная граница зоны пересекает диагонально долину р.Бахтинки по геофизическому профилю № 4 в месте расположения скважины № 17; северо-восточная граница зоны субнормально пересекает площадь участка ориентировочно в 300м к северо-востоку от скважины № 23. Значения КЭР от 10 до 30. В пре-	Выявлено два участка: № 6 в 0,5км к северо-западу от границы п.Фатеево и № 5 приуроченный к центрально-юго-восточной части Мутницкого участка, захватывающий долину р.Плоски. КЭР в пределах участков 25-30. Центральная часть участка № 5 расположена на левом борту долины р.Плоски. Участок имеет изометричную форму. Размер участка в плане 2x2,5 км. Относительно длинная ось	Фоновые значения КЭР вне участков и зон повышенной трещиноватости – от 10 и ниже. Перспективность выявленных участков по КЭР повышается при их пространственном совпадении с участками повышенной плотности трещин, выявленных по АКГИ. Перспективные участки: в долине р.Бахтинки участок № 1, выявленный по КЭР совпадает с участ-

Наименование факторов и показателей	Бахтинский участок	Мутницкий участок	Примечания
	делах долины р.Бахтинки ширина зоны (по линии расположения скважин №№ 17-23) составляет 6,1 км. В пределах зоны выявлено 3 участка, где КЭР имеет значения 20-30 (№№ 1, 2, 3)	участка ориентирована вдоль долины р.Мутница и р.Плоски. В пределах долины р.Плоски протяженность участка составляет 1,7-1,8км.	ками №№5, 6 (АКГИ); в долине р.Плоски участок № 5, выявленный по КЭР совпадает с участками №№ 11, 12 (АКГИ).
III. Гидрогеологические показатели перспективных участков			
4. Локальное возрастание модуля подземного стока	Участок по КЭР №1: локальное возрастание модуля подземного стока с 2,8 до 4.1 л/с/км ² .		В среднем модуль подземного стока в пределах участков неотектонической активности возрастает в 1,5-2,0 раза
5. Локальное увеличение удельного водопритока	Участок по КЭР № 1: увеличение удельного водопритока с 17,0 до 45,2 л/с в интервале гидрометрических створов 10б и 10, ограничивающих участок в пределах зоны руслового потока р.Бахтинки	Участок № 5 по КЭР: увеличение удельного водопритока с 6,2 до 32,5 л/с на интервале руслового потока р.Плоски между створами 18 и 17а, ограничивающих участок в прирусловой зоне.	Диапазон увеличения удельных водопритоков: в 2,5 - 5,0 раз. Косвенным доказательством высокой степени трещиноватости является тесная взаимосвязь уровня режима подземных вод, фиксируемого по наблюдательным скважинам с метеорологическими и гидрологическими факторами: уровень наиболее динамичен, с четко выраженными сезонными колебаниями.
IV. Показатели по результатам исследований скважин			
6. Качественно-количественная оценка трещиноватости пород	В скважинах, вскрывших локальные участки повышенной трещиноватости (скв. №№ 17, 25, 21) фиксируется высокая степень трещиноватости по КС и по керновому материалу	Высокая степень трещиноватости по КС и по керновому материалу (скв. № 21)	Породы, пройденные скважинами между участками повышенной трещиноватости, например, в долине р.Бахтинки (скважины №№ 18 и 23), характеризуются по данным описания керна почти полным отсутствием трещин
7. Относительно максимальные значения гидродинамических показателей по данным откачек, выполненных в поисковых скважинах	Скважины, пройденные в пределах выделенных участков повышенной плотности трещин (№№ 17, 25, 21: а) дебиты (л/с) 10,7; :7,8; 8,0; б) удельные дебиты (л/с/м) 1,45; 3,94; 1,1; в) водопроницаемость (м ² /сут) 188;	Скважина №21: а) дебит (л/с) 10,0	Показатели по скважинам, пройденным за пределами участков повышенной трещиноватости: Бахтинская площадь: скв. 23 а) дебит (л/с) 6,6; б) удельный дебит (л/с/м) 0,41; в) водопроницаемость (м ² /сут) 53.

Наименование факторов и показателей	Бахтинский участок	Мутницкий участок	Примечания
	512; 143		Мутницкая площадь: скв. 6 а) дебит (л/с) 3,77; б) удельный дебит (л/с/м) 0,86; в) водопроницаемость (м ² /сут) 116
V. Гидрохимические показатели			
8. Изменение химического состава вод руслового потока, снижение минерализации в пределах трещиноватых зон при условии возрастании расхода руслового потока.	Водная проба «0» на входе в участок повышенной плотности трещин №6 (АКГИ), в пределах которого пробурена скважина № 17, отличается от пробы «10б» на выходе в повышенном содержании гидрокарбонат-иона, кальция, магния, высоким значением общей жесткости, повышенным содержанием общего железа	Снижение минерализации вод руслового потока р.Плоски в пределах участка КЭР № 5 и повышение минерализации вод ниже по течению от участка № 5	
VI. Геофизические показатели			
9. Сочетание локального минимума гравитационного поля и максимума поля ЕП.	Скв. №17 на профиле 4, находящаяся в перспективной зоне, имеет дебит 10.7 л/с. Скв. №21 (дебит 8.0 л/с) на профиле 3 находится в менее перспективной зоне.	В перспективной зоне находится скв. №21 на профиле 2 с дебитом 10.0 л/с. Остальные скважины находятся в менее перспективных зонах.	Наблюдения проведены на четырех профилях: №1 Мутницкий участок 4.01 км, №2 Мутницкий участок 3.45 км, №3 Бахтинский участок 1.91 км, №4 Бахтинский участок 1.98 км

Библиографический список

1. *Азин В.Н., Деньгин В.Г., Дружинин Г.В. и др.* «Минерально-сырьевые ресурсы Кировской области», Киров, 2003. С. 153-154].
2. *Иконников Е.А., Джаббаров А.Х.* О водоносности нарушений Верхнекамского месторождения солей // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: мат. юбил. конф., посвящ. 80-летию геол. ф-та и 95-летию Перм. ун-та; Перм.гос.нац.иссл.ун-т. – Пермь, 2011. С. 144-146.
3. *Оборин С.В.* Проблемы прогнозирования и геологического изучения водообильных участков в зонах повышенной трещиноватости горных пород осадочного чехла на примере месторождений подземных вод Кировской области / Теоретическая и прикладная экология, №3, 2007, с.50-53.