

УДК 556.3.01

ДИНАМИЧЕСКИ НАПРЯЖЕННЫЕ ЗОНЫ ЛИТОСФЕРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Матусевич В.М., Абдрашитова Р.Н.

Тюменский государственный нефтегазовый университет, Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 56), e-mail: ritte@list.ru

В статье представлены результаты применения геодинамического подхода при гидрогеологических исследованиях Западно-Сибирского мегабассейна. Данный подход основан на представлении каждой водонапорной системы Западно-Сибирского мегабассейна в качестве блочной (матрично-флюидальной) системы. При этом границами блоков являются так называемые динамически напряженные зоны – это своеобразные геологические тела с определенными параметрами и свойствами, разделяющие соседние блоки. В структуре гидрогеологического поля динамически напряженные зоны могут быть как каналами вертикальной миграции, так и гидродинамическими экранами за счет аутигенного минералообразования. Авторы приводят доказательства существования блоков в структуре гидрогеохимического, гидрогеодинамического полей, а также в структуре поля продуктивности водонапорных систем Западно-Сибирского мегабассейна. В статье с указанных позиций рассмотрены условия Восточно-Уральского краевого шва и Омско-Гыданской структурной зоны.

Ключевые слова: водонапорная система, Западно-Сибирский мегабассейн, динамически напряженные зоны, элизионные воды, геодинамика, гидрогеологическое поле.

DYNAMIC TENSION ZONES OF LITHOSPHERE AND THEIR IMPACT ON THE HYDROGEOLOGICAL FIELD

Matusevich V.M., Abdrashitova R.N.

Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia (625000, Tyumen, Volodarskogo street 56), e-mail: ritte@list.ru

The results of the application of geodynamic approach to hydrogeological investigations of the West Siberian megabasin presented in the article. This approach is based on the representation of each of the water pressure system of the West Siberian megabasin as a block (matrix-fluidal) system. The boundaries of the blocks are dynamically tension zones. Dynamic tension zone it is geological bodies with specific parameters and properties. They share the adjacent blocks. Dynamic tension zones in the structure of the hydrogeological field can be channels of vertical migration or hydrodynamic screens due to authigenic mineral formation. The evidence the existence of the blocks in the structure of hydrogeochemical, hydrogeodynamic fields and in the structure of the field of productivity of the West Siberian megabasin are given by the authors. The article with the above positions are considered the conditions of the East Ural edge seam and Omsk Gydansky structural zone.

Keywords: water pressure system, the West Siberian megabasin, dynamic tension zone, elysion water, geodynamics, hydrogeological field.

Перед современной прикладной и фундаментальной гидрогеологией стоит большое количество научно-методических задач, лежащих в плоскости междисциплинарных исследований. Задачи касаются всех разделов и направлений гидрогеологии: поисков и разведки пресных, минеральных и термальных подземных вод, нефтегазовой и нефтепоисковой гидрогеологии, гидрогеологии рудных полезных ископаемых, гидрогеологических исследований при инженерно-геологических изысканиях, методики проведения гидрогеологических работ и т.д. В настоящей статье нам хотелось бы остановиться на одной из таких междисциплинарных проблем – геодинамике в гидрогеологии, а точнее геофлюидодинамике. Занимаясь в последние годы разработкой геодинамической концепции в современной гидрогеологии [5] на примере Западно-

Сибирского мегабассейна (ЗСМБ), мы пришли к выводу, что классические представления об артезианском движении подземных вод требуют пересмотра, так как не описывают природу движения подземных вод на глубинах нефтегазоносных горизонтов. При этом подобные точки зрения встречаются в работах А.А. Карцева, В.А. Всеволожского, В.И. Дюнина, М.Б. Букаты, Л.А. Абуковой, О.П. Абрамовой, Т.А. Киреевой, Л.А. Ковяткиной и других авторов.

Геодинамический подход к гидрогеологическим исследованиям основан на представлении об эволюции водонапорных систем (ВНС), где геодинамическое преобразование нефтегазоносных бассейнов происходит в течение геологического времени по единому эволюционному ряду. Основу ряда составляет геотектонический цикл эволюции литосферы, начинающийся расколом континента и формированием новообразованных океанических впадин и континентальных окраин и заканчивающийся орогенезом в процессе поглощения океанической коры в зонах закрытия океана, схождения и столкновения континентальных блоков. Этот цикл известен под названием цикла Уилсона. Подземная гидросфера какого-либо участка литосферы, участвующего в геодинамическом преобразовании, должна претерпеть изменения в соответствии с эволюционным рядом Уилсона. С этих позиций нами рассмотрена история формирования ВНС ЗСМБ в нескольких работах [5–7]. В настоящее время в связи с получением новым данных 3D сейсморазведки, минералогических, петрографических, гидрогеохимических, гидрогеотемпературных и других исследований мы рассматриваем каждую ВНС ЗСМБ как своего рода матрично-флюидальную (блочную) систему. При этом границами блоков являются так называемые динамически напряженные зоны (ДНЗ). Под ДНЗ авторы монографии «Динамически напряженные зоны литосферы – активные каналы энерго-массопереноса» [8] понимают «ослабленные места (зоны), которые находясь в постоянно в динамическом напряжении, работают как активные каналы энерго-массопереноса, снимая (релаксируя) энергию напряжений либо различными видами деформаций формирующегося разлома, либо микросейсмическими колебаниями, распространяемыми в основном вверх по плоскости магистрального сместителя через всю толщу горных пород вплоть до дневной поверхности. Ближе к дневной поверхности в толще песчано-глинистых отложений яркие признаки разрывных деформаций исчезают, но влияние их физических полей присутствует в грунтах как в постоянных границах». Таким образом, ДНЗ – это своеобразные геологические тела с определенными параметрами и свойствами, разделяющие соседние геоблоки. Их возникновение связано с проявлением внутренних сил Земли. Среди основных физических параметров ДНЗ авторы монографии [8] выделяют линейные (объемные), временные и силовые, т.е. характеристики, образованные взаимной вариацией физических полей. Ниже рассмотрены эти параметры с точки зрения природы гидрогеологического поля ЗСМБ. В

структуре гидрогеологического поля ДНЗ могут быть как каналами вертикальной миграции, так и гидродинамическими экранами за счет аутигенного минералообразования.

В теории равновесной геодинамической системы В.И. Вернадского гидрогеологическое поле в комплексе природных физических полей рассматривается как специализированное многокомпонентное поле. Оно взаимодействует и поглощает своей средой многие характеристики других полей: гидрогеотермального, гидрогеодинамического, гидрогеохимического, электромагнитного, гравитационного. Гидрогеологическое поле характеризуется гетерогенностью и зональностью. Все его разновидности являются производными естественных физических полей. В настоящей статье мы касаемся только двух его разновидностей: гидрогеодинамического и гидрогеохимического.

В структуре гидрогеодинамического поля ДНЗ представляют собой границы блоков. В.И. Дюнин выделяет следующие типы и подтипы границ в осадочном чехле и фундаменте [3]: тектонические, литолого-фациальные и минералого-геохимические. Тектонические подразделяются на три основных подтипа: связанные с разрывными нарушениями со смещениями, амплитуда которых достигает десятков и сотен метров, связанные с нарушениями с малыми амплитудами смещения или без них и сформированные в условиях сжатия. Под влиянием сжимающих усилий сокращение пористости может достигать 12 %, а проницаемости – до 300 % по отношению к прежним условиям, что, вероятно, может сформировать непроницаемые границы. Третий подтип тектонических границ может быть связан с зонами растяжения, для которых характерны повышенные значения фильтрационно-емкостных свойств. Например, в пределах Восточно-Уральского краевого шва (ВУКШ) и Омско-Гыданской структурной зоны (ОГСЗ), представляющих собой геодинамические ВНС и характеризующиеся повышенной концентрацией тектонических границ, а, следовательно, и ДНЗ, наблюдается и повышенная концентрация гидрогеодинамических аномалий. В северной части ОГСЗ фиксируются пластовые давления, превышающие гидростатические в 1,7–1,8 раза. На юге ОГСЗ протягивается субмеридиональная зона пониженного давления шириной 100–150 км (от Северо-Хохряковской до Илей-Егайской разведочной площади), где фиксируются пластовые давления на 3–4 МПа ниже гидростатических. В пределах ВУКШ проявляется система глубоких пьезо минимумов и пьезо максимумов напором подземных вод. Дефицит пластового давления достигает здесь 5–8 МПа, а превышение условного гидростатического давления на некоторых участках составляет 4–7 МПа. Такие перепады отражаются на структуре гидрогеодинамического поля: оно имеет ячеистую или блоковую форму.

Блоковую или ячеистую структуру имеет также поле продуктивности. Например, поле продуктивности месторождений Красноленинского свода было изучено Р.М. Бембелем [1].

Высокую степень локализации очагов повышенной продуктивности, этот исследователь связывает с субвертикальными зонами деструкции, которые в свою очередь и являются, на наш взгляд, ДНЗ. Например, в пределах Ем-Еговского месторождения Красноленинского свода на участке площадью в 1 км² в районе разведочной скважины Р-2 92 % накопленной добычи нефти (на период до 1992 года) получено из одной скважины, попавшей в зону субвертикальной деструкции, тогда как на каждую из остальных восьми добывающих скважин, оказавшихся за пределами очага приходится лишь по 1 %. Еще более локально ураганной оказалась добыча нефти на этом же месторождении из скважины Р-15, попавшей в такую зону, где за десять лет разработки добыто более 1 млн тонн безводной нефти. Геолого-геофизический анализ материалов в районе этой скважины позволяет сделать вывод о жильном типе залежи, связанной с субвертикальной зоной деструкции, уходящей глубоко (возможно на многие десятки или даже сотни метров) в фундамент. Малые поперечные размеры площади залежи, ураганно высокий дебит и суммарная накопленная добыча имеют тот же порядок, что и добыча из всех остальных добывающих скважин (более 100) на этом месторождении.

Литолого-фациальные границы также тесно связаны с ДНЗ и тектоническими границами, которые в свою очередь наряду с тектоническим режимом территории во многом определили палеоусловия осадконакопления и скорость уплотнения пород на различных участках.

Одни из самых крупных литолого-фациальных границ отвечают трем мегациклитам, выделяемым в разрезе ЗСМБ: большехетскому (заводоуковскому) – это нижняя и средняя юра, полудинско-усть-тазовскому – верхняя юра – сеноман, дербышевскому (турон – дат). Объемы мегациклитов, их толщины, соотношения глинистой и супесчаной компонент в каждом из них заметно отличаются друг от друга. Мы полагаем, что места формирования границ мегациклитов также во многом были определены положением ДНЗ на период их образования. Наложение в плане однотипных литофациальных зон выделенных мегациклитов привели к слиянию по вертикали участков, имеющих одинаковые условия развития геофлюидальной системы. Так, крупнейшей литолого-фациальной границей ЗСМБ является граница так называемого фроловского барьера, имеющего исключительно глинистый состав, мощность до 750 м. Благодаря «фроловскому барьеру» в юрских отложениях сформировалась максимально закрытая гидрогеологическая система, в то время как в областях максимально приближенных к областям сноса осадков (западное и восточное обрамления ЗСМБ), сформировались «сквозные» зоны проницаемых пород, благоприятные для существования гидродинамически открытых систем.

На наш взгляд, одними из наиболее мелких границ, представляющих собой ДНЗ, являются границы распространения гидрофильных и гидрофобных пород, встречающиеся в пределах как одного месторождения, так и одной залежи углеводородов. Осадочные породы, заполняющие ложе ЗСМБ, являются полимиктовыми и обладают различными смачивающими свойствами. Учет этого обстоятельства особенно важен при гидрогеологическом обосновании захоронения подтоварных и сточных вод. Ярким примером игнорирования изучения капиллярных свойств пород при заводнении является неблагоприятный результат мероприятий по поддержанию пластового давления, проведенных на Талинском месторождении нефти [2].

ДНЗ также имеют значительное влияние на гидрогеохимическое поле. Наиболее крупные ДНЗ (границы ВНС) отвечают границам краевой, внешней и внутренней гидрогеохимических зон, отличающихся по минерализации, ионно-солевому составу, окислительно-восстановительной обстановке, рН, концентрации органических веществ, микроэлементов, растворенных газов и т.д. [7]. Если же говорить о ДНЗ более мелкого ранга, представляющих собой границы отдельных блоков внутри мегаблоков, то они могут являться путями вертикальных перетоков флюидов: восходящих и нисходящих, в зависимости от гидрогеодинамических условий. Например, в пределах ОГСЗ воды меловых отложений имеют минерализацию рассолов (Вэнга-Яхинская, Северо-Губкинская, Комсомольская площади) на участках, характеризующихся пересечением рифтовых зон различного времени заложения, где по данным сейсморазведки фиксируются разрывные нарушения, а следовательно и ДНЗ. Локализация рассолов в юрских отложениях тяготеет к линии Уренгойско-Колтогорского грабен-рифта, в Колпашевском Приобье и Омской впадине минерализация достигает 105 г/л, при этом – отмечается высокое содержание брома (до 187 мг/л). В пределах Талинского месторождения, расположенном относительно близко к ВУКШ, фоновая минерализация подземных вод ниже-среднеюрского гидрогеологического комплекса – 8–9 г/л, но встречаются локальные участки с минерализацией 4,5–6,1 г/л и 2,4–3,7 г/л. Данные участки приурочены к крупным разломам и местам с повышенной температурой кровли фундамента (до 110 °С, фоновая – 100 °С). Давления здесь догидростатические.

Пониженные минерализации мы связываем с «всасыванием» элизионных вод из вышезалегающих пород (фроловского барьера, флюидоупоров верхней юры) по ДНЗ. В периоды тектонической активности здесь также могли происходить интрузии низкоминерализованных глубинных вод. Миграция флюидов [9], вероятно, в таких случаях происходит в виде совокупности бесчисленного множества самостоятельных потоков, движущихся снизу вверх по ослабленным зонам. Некоторые из них обладают повышенной

активностью. В результате подобных условий создаются гидрогеохимические аномалии, выражающиеся в формировании пластовых вод с пониженной или повышенной относительно фоновой минерализацией, изменении концентрации некоторых микроэлементов и т.д.

Таким образом, ДНЗ могут быть как непроницаемыми, так и полупроницаемыми и проницаемыми линейными геологическими границами, которые прослеживаются через весь осадочный чехол до дневной поверхности. Интересные данные по функционированию ДНЗ получены по юго-западной части ЗСМБ [10]. Здесь на основе изучения аэрокосмических снимков и картографических планов были выделены региональные и локальные системы трещиноватости. К ним приурочены зоны разуплотнения пород, по которым, по-видимому, происходят межбассейновые перетоки из мезозойского гидрогеологического бассейна в кайнозойский. Участки разгрузки подземных вод более глубокозалегающих бассейнов имеют нетипичный для олигоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса химический состав. Так, по результатам исследований 234 проб подземных вод олигоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса, выполненных Тюменской комплексной геолого-разведочной экспедицией, выявлен ряд локальных участков (по 33 объектам) с повышенным содержанием йода и брома. Эти участки приурочены к зонам ДНЗ.

ДНЗ, функционирующие в пределах ниже-среднеюрского гидрогеологического комплекса Красноленинского свода, в общем проецируются на зоны трещиноватости и разломы фундамента. Проекция одного и того же разлома может изменяться на разных глубинах, что зависит от ротационных эффектов и от действия локальных эндогенных процессов. Формирование ДНЗ во многом определено историей тектонического развития региона и вытекающими последствиями: например, может быть также связано с естественным гидроразрывом при элизионном водообмене. В таком случае естественный гидроразрыв происходит при переходе связанной воды в свободное состояние (плотность связанной воды в 1,4–1,5 раз превышает плотность свободной). Наличие мощной толщи глин неокомского возраста (до 750 м), упомянутый выше, фроловский барьер, сформировало здесь благоприятные условия для проявления данного процесса.

Особо хотелось бы отметить свойства водных растворов в пределах ДНЗ. Как отмечают исследователи, занимавшиеся природой ДНЗ [8] диффузионные потоки в зонах разрывных нарушений не только наводят электрические и магнитные поля, влияющие на биоту различными газами и концентрациями растворенных в них химических элементов, но и способны вызвать мощные процессы гидратации. Если же говорить о водных диффузионных потоках в пределах ДНЗ ЗСМБ, то это могут быть высокоагрессивные водные растворы, образовавшие при переходе связанной воды в свободную – элизионные

воды, а также высокотемпературные глубинные углекислые флюиды, поступающие по разрывным нарушениям. Описанные процессы тесно связаны с процессами нефтегазообразования. При выжимании водных растворов из глин (переходе связанной воды в свободную) происходит главное обогащение седиментационных вод нефтеобразующими органическими веществами (протонефтью) и компонентами нефти [4]. При продавливании выжимаемого седиментационного раствора через глины, он должен растворить все способные растворяться органические соединения, находящиеся в этих глинах: органические кислоты, образующие мыла, углеводороды и т.п. Эти процессы наиболее интенсивны на элизионных этапах гидрогеологических циклов.

Лабораторные исследования последних лет подтверждают эти представления [10]: «В условиях тонкодисперсной литологической среды связанные воды, находясь в поле влияния поверхностных сил, обладают повышенной агрессивностью, поэтому их растворяющая способность на порядок выше, чем у свободных вод. При выходе из поля влияния поверхностных сил растворенные соединения выделяются из раствора, формируя скопления в виде пленок жидких углеводородов или минеральных корок» [10].

Вопросы влияния ДНЗ на гидрогеологическое поле остаются открытыми. Несмотря на, казалось бы, огромное количество информации о параметрах гидрогеологического поля ЗСМБ, накопленное с начала разработки месторождений углеводородов, его явно недостаточно для однозначных выводов. Представленная статья является, в первую очередь, постановочной, обозначающей некоторый круг вопросов, решение которых лежит в плоскости междисциплинарных исследований. Трудности изучения влияния ДНЗ на гидрогеологическое поле, в особенности на больших глубинах, связаны с неравномерностью изученности гидрогеологических условий в пределах ЗСМБ, выполнением гидрогеологических работ только в объемах, необходимых для обоснования систем поддержания пластового давления, утилизации сточных вод и т.д., т.е. узких нефтепромысловых задач. Гидрогеологическое поле, как было отмечено выше, гетерогенно и неоднородно, в том числе и во времени, что также усложняет исследования. Уникальность свойств природных вод, в особенности в пределах зон активных каналов энерго-, массопереноса – ДНЗ, требует дополнительных лабораторных исследований, новых методологических разработок.

Список литературы

1. Бембель Р.М., Мегеря В.М., Бембель С.Р. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – 344 с.

2. Большаков Ю.Я., Матусевич В.М., Семенова Т.В. Использование данных о капиллярных давлениях для повышения нефтеотдачи при заводнении пластов на месторождениях Западной Сибири // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2002. – № 1. – С. 10–14.
3. Дюнин В.И. Гидродинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов. – М.: Научный мир, 2000. – 472 с.
4. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. – М.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1963. – 354 с.
5. Матусевич В.М., Абдрашитова Р.Н. Геодинамическая концепция в современной гидрогеологии на примере Западно-Сибирского мегабассейна // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4. – С. 1157–1160.
6. Матусевич В.М., Бакуев О.В. Геодинамика водонапорных систем Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // Советская геология. – 1986. – №2. – С. 117–122.
7. Матусевич В.М., Рыльков А.В., Ушатинский И.Н. Геофлюидальные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. – 225 с.
8. Радченко А.В., Мартынов О.Ф., Матусевич В.М. Динамически активные зоны литосферы – активные каналы энерго-, массопереноса. – Тюмень: Тюменский дом печати, 2009. – 240 с.
9. Розин А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. – Новосибирск: Наука, 1977. – 102 с.
10. Юсупова И.Ф., Абукова Л.А., Абрамова О.П. Потери концентрированного органического вещества пород при их погружении как фактор геодинамической дестабилизации // Доклады Академии наук, 2007. – Т. 414. – № 1. – С. 1–4.

Рецензенты:

Плавник А.Г., д.г.-м.н., профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа Тюменского государственного нефтегазового университета, г. Тюмень;

Попов И.П., д.г.-м.н., профессор кафедры геологии месторождений нефти и газа Тюменского государственного нефтегазового университета, г. Тюмень.