

Повышение надежности вероятностной оценки прогноза выявления нефтегазоносных локальных структур при геологоразведочных работах на геодинамической основе

А.И. Никонов

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия
E-mail: nikson59@rambler.ru

Аннотация. В работе на основе тектонофизических моделей регионального и локального уровней дается анализ роли геодинамических факторов, повышающих вероятность оценки выявления нефтегазоносных структур на геологоразведочных стадиях. Предлагается рассмотрение геодинамических критериев в ходе поисковых работ для разработки и обоснования научно-методических подходов возможности накопления и сохранения углеводородных компонентов в структурах осадочного чехла. Полученные результаты позволяют скорректировать геологическую модель предполагаемого месторождения в области структурной неоднородности, выявить наличие связи между продуктивными объектами и другие факторы для успешного открытия экономически рентабельных объектов разработки.

Ключевые слова: тектонофизическое моделирование, геодинамические факторы, зоны разломов, нефтегазоносные структуры, поиск месторождений

Для цитирования: Никонов А.И. Повышение надежности вероятностной оценки прогноза выявления нефтегазоносных локальных структур при геологоразведочных работах на геодинамической основе // Актуальные проблемы нефти и газа. 2023. Вып. 4(43). С. 17–30. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-43.art2>

Введение

В настоящее время существует множество подходов к оценке риска геологоразведочных проектов [1–4], которые характеризуются факторами, представляющими набор физических параметров в недрах, полученных геофизическими методами с целью их геологической интерпретации на основе данных бурения разведочных скважин.

Задачи повышения эффективности поисков углеводородных ресурсов являются всегда актуальными исследованиями, позволяющими от региональных закономерностей образования осадочных нефтегазоносных бассейнов переходить к реализации параметрических классификаций, отражающих локальный характер истории формирования продуктивных

углеводородных (УВ) систем (месторождений). В современной экономической ситуации оценка геологического риска открытия нефтегазового месторождения является важной задачей при проведении геологоразведочных работ на поиски нефтегазовых ресурсов. Применение сегодня вероятностных оценок открытия экономически рентабельных месторождений, покрывающих затраты на их поиски и последующую оценку объема УВ ресурсов, полученных путем реализации сложных вычислительных алгоритмов на основе современных программных комплексов, например, GeoX, Rose and Associations и других, не в полной мере позволяют дать рекомендации по эффективности и геологическим рискам.

Это связано и с тем, что значения математического ожидания факторов, характеризующих потенциальную возможность образования продуктивной УВ системы, в большей степени относятся к преобладающей концепции органического, а не полигенного (органического и неорганического) характера процессов образования залежей УВ. По этой же причине применение программных пакетов, использующих принципы бассейнового моделирования, часто не приводят к практическим результатам их возможного выявления, так как не рассматриваются глубинные геодинамические процессы, приводящие к образованию локальных нефтегазоносных зон или поднятий, формирующих условия вертикальной миграции флюидов. Данные процессы приводят к изменению термобарических условий в системе «порода–флюид», связанных с внедрением глубинных газонасыщенных растворов, запускающих механизм изменения первичных седиментогенных комплексов пород и образования новых типов их проницаемости. На этапах локальной активизации вертикальных геодинамических движений блоков фундамента осадочные комплексы пород претерпевают вторичные преобразования минералогического состава (метасоматические изменения), а также физических и прочностных свойств, зависящих от длительности деформационного и гидродинамического характера воздействий на них [5].

В связи с этим вопрос об оценке проницаемости покрышек, типах пористости пород коллектора (поровый, порово-трещинный, трещинный) и выявление путей миграции по зонам разломов на разведочной стадии потенциального объекта исследования предлагается дополнительно рассматривать на основе геодинамических условий его формирования.

Научная новизна, представленная в данной статье, отражает синтез тектонофизических представлений о формировании локальных антиклинальных структур в связи с разномасштабными геодинамическими процессами, характеризующимися различным уровнем деформационного воздействия на горные породы и их структурные изменения. К обсуждению предлагается рассмотрение геодинамических критериев для геолого-разведочной стадии «поисково-оценочный этап» [6] – для разработки и обоснования научно-методических подходов возможности накопления и сохранения во времени УВ компонентов в структурах осадочного чехла.

Типы антиклинальных локальных структур и тектонофизические особенности их строения

В работах по оценке вероятности геологического успеха при поисках перспективных месторождений УВ для их открытия и последующей разработки используются факторы, которые считаются наиболее научно обоснованными. К таким факторам в статье [3] относятся: очаг генерации; наличие покрышки; определение коллекторских свойств пород, способных создать пространственно-временной резервуар нахождения в нем УВ; структурные особенности ловушки, характеризующие ее тип замыкания; степень заполнения и сохранность залежи. Все эти факторы изначально характеризуют выявление локальной области поиска объекта (месторождения), в пределах которой геодинамические процессы (движения и деформации) будут являться аномальными по отношению к фоновым геодинамическим условиям, происходящим в системе нефтегазоносного бассейна (НГБ) [5].

Важно подчеркнуть, что процессы миграции (вертикальные или горизонтальные) УВ флюидов в поисково-разведочных задачах в большинстве случаев являются модельными, отражающими современное состояние УВ-систем, что не позволяет на поисково-разведочной стадии дать оценку всему комплексу пространственно-временных геологических и геодинамических процессов формирования месторождения.

Рассмотрим набор вышеперечисленных факторов, с позиции механизмов образования локальных структур, которые могут являться в определенной степени геодинамическими критериями для оценки проницаемости покрышек, типа порового пространства и степени заполнения ловушки.

В работах известных тектонистов конца XX века, таких как В.В. Белоусов (1962), В.Е. Хаин (1964), Г.Д. Ажгирей (1966), Ю.А. Косыгин (1969), Э.У. Спенсер (1981), В. Ярошевский (1981) рассматриваются условия образования антиклинальных платформенных поднятий (дизъюнктивных и пликативных дислокаций), в основном, с позиции горизонтальных движений (сжатие или растяжение). К процессам образования антиклинальных складок, формирующихся за счет вертикальных движений относят, в основном, инъективные дислокации, связанные с соляной тектоникой, которые впервые ввел в общую классификацию типов складок Ю.А. Косыгин [7]. В указанной монографии [7] при проведении сравнительного анализа этих трех типов дислокаций, имеющих тесные связи друг с другом, автор делает вывод, что «Очевидно, пришла пора пересмотра представлений об истории складчатости (фазы, темп и т. д.), исходя из признания множественности механизмов ее формирования».

Необходимо отметить, что до конца 80-х годов XX века по представлениям

американских авторов считалось, что генезис антиклинальных локальных структур (3–4 порядков) платформенных территорий, образованных на границе фундамента и осадочного чехла, связан с облеканием осадочными породами выступов фундамента. Данные представления длительное время оставались и в учебниках по общей и динамической геологии в СССР [8]. Проведение масштабных поисково-разведочных работ на нефть и газ в начале 60-х годов в таких регионах, как Русская и Западно-Сибирская платформы, показало, что образования локальных структур не связаны с процессами горизонтального сжатия или «облекания» осадками выступов фундамента, а характеризуются локальными процессами вертикального их поднятия. Созданием научных основ тектонофизического моделирования формирования тектонических структур на основе теории условий подобия и научно обоснованного выбора ряда эквивалентных материалов в нашей стране, начиная с 1965 г., занимался М.В. Гзовский. Разработанные им методики и приборы для физического моделирования тектонофизических (геодинамических) процессов позволили решать задачи по истолкованию структурно-тектонических форм геологических объектов и воссозданию тектонических полей напряжений при их формировании. В работе по тектонофизическому моделированию образования во времени локальных платформенных структур за счет вертикальных движений блоков пород фундамента [9] продемонстрировано, как будут перераспределяться касательные и нормальные напряжения в структуре осадочного чехла, представленного разноплотными слоями моделируемых горных пород, на основе эквивалентных материалов в экспериментах оптико-поляризационного метода (рис. 1).

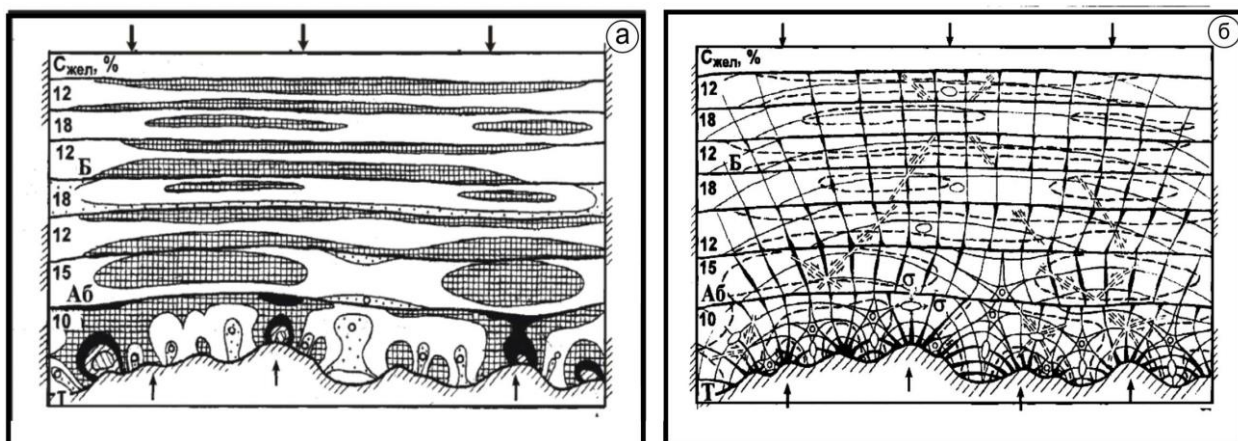


Рис. 1. Конечный результат распределения в оптико-поляризационной модели зон касательных и нормальных напряжений, формирующихся во времени за счет вертикальных движений жестких блоков фундамента при образовании локального поднятия Ем-Еговского месторождения (по данным [9]): а – распределение касательных напряжений; б – траектории касательных (штрихпунктирные линии) и нормальных напряжений (сплошные линии). Пояснения к рисунку в тексте

На данной модели (см. рис. 1) изучалось распределение напряжений в разноплотностных слоях, имитирующих баженовскую (Б) и абалакскую (Аб) свиты, сложенных глинами различной твердости, а также кремнистыми и карбонатными породами, моделируемых разной плотностью желатина, на которые осуществлялось деформационное воздействие за счет вертикального перемещения блоков пород тюменской свиты (Т). Касательные напряжения на рис. 1а показаны областями от темного к более светлому цветотону, где черный цвет – это максимальные значения касательных напряжений, а белый цвет – минимальные. Оптико-поляризационный метод позволяет выявить зоны и их структуру, в которых происходит реализация касательных напряжений и в которых при преодолении прочности пород на сдвиг будут созданы зоны сколовых трещин.

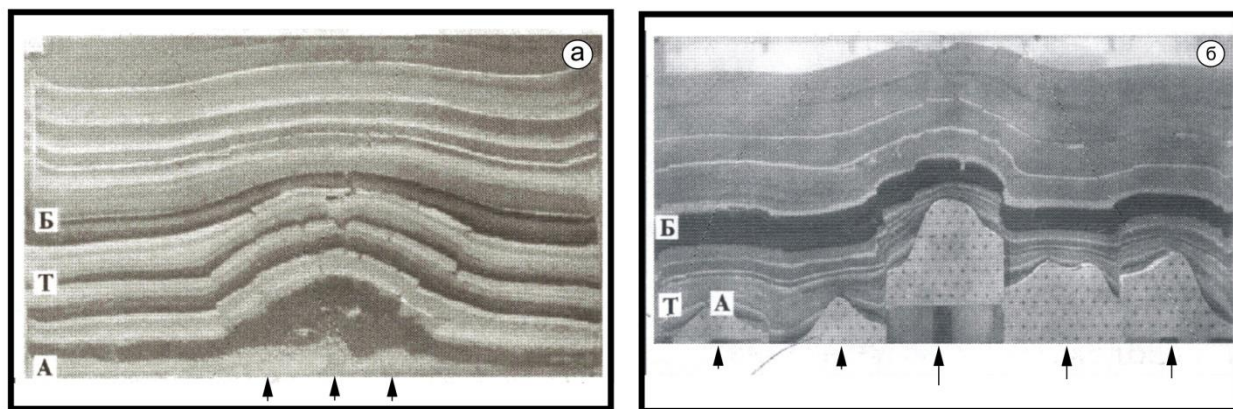
Распределение касательных напряжений в самом нижнем 10-м слое, который имеет минимальную плотность, характеризуется максимальными вариациями их значений. Выше по разрезу значения касательных напряжений в разноплотностных

слоях становятся более однородными, в которых исчезают детали подошвы структурной поверхности по горизонту Т.

Далее рассмотрим траектории нормальных напряжений в виде черных линий на рис. 1б, которые являются зонами отрыва и имеют над поднятиями субвертикальную ориентировку. Над прогибами ориентировка зон отрыва в нижнем 10-м слое становится горизонтальной. Затухание величин нормальных вертикальных напряжений происходит от точки приложения нагрузки (увеличенная толщина линий) к кровле поднятия и к крыльям структуры. Распределение зон отрыва определяется следующими закономерностями: образование зон субвертикальной ориентировки приурочены к центральной части поднятия и имеют наклон к крыльям складок; субвертикальные трещины отрыва могут образовываться как в отдельных слоях, так и пересекать весь осадочный чехол в зависимости от длительности периодов вертикальных движений блоков основания в модели. Данные периоды соответствуют активизации геодинамических процессов.

Эксперименты на седиментационных моделях [9] проводились на эквивалентных материалах, имитирующих породы осадочного чехла в соответствии с данными сейсмических разрезов, имеющих целью выявить структурно-тектонические особенности изменения слоев пород на этапах активизации вертикальных движений блоков фундамента. На рис. 2 представлены разрезы

антиклинальных структур Кальчинского и Пальяновского месторождений на конечном этапе формирования поднятий. В отличие от оптико-поляризационного метода, который позволяет исследовать упругие деформации при формировании антиклинальных поднятий, тектоноседиментационный метод позволяет выявлять на моделях пластические и разрывные деформации.



А – породы фундамента; Т – породы тюменской свиты; Б – породы баженовской свиты

Рис. 2. Конечный результат формирования антиклинальных структур с морфологическими особенностями их тектонического строения в многослойной разноплотностной среде при воздействии на нее вертикальной нагрузки жестких блоков для месторождений: а – Кальчинского; б – Пальяновского (по данным [9])

Из результатов экспериментов (см. рис. 2) видно, что вертикальные движения блоков фундамента приводят к изгибанию слоев вверх (изменению их геометрии), а образование зон разломов характеризует блоковую структуру в пределах самой складки.

Выполненные эксперименты показали, что по ориентации образующиеся зоны отрыва являются субвертикальными в присводовой части поднятия, а по мере удаления от купола к его крыльям сменяются сдвиговыми зонами, постепенно приобретая наклонный характер. Важным результатом модельных экспериментов по изучению роста поднятий является факт образования

над его купольной частью зон просадок или разупрочнения, которые часто отмечаются на сейсмических профилях.

Таким образом, характер развития напряжений в оптико-поляризационных моделях и образование зон трещиноватости на тектоноседиментационных моделях находит подтверждение на многих нефтегазовых месторождениях.

Флуктуация проницаемости разломных зон

При рассмотрении процессов миграции флюидов по зоне разлома существует неопределенность в диагностике такого его свойства, как проницаемость во времени.

Существующие представления об интенсивности миграции растворов и флюидов по разломам в нефтегазовой геологии многими исследователями априорно считаются зонами непрерывного их перетока разной интенсивности в выше- либо нижележащие горизонты осадочного чехла. При этом не учитываются временные изменения вертикальных и горизонтальных напряжений в горных породах по глубине, а также РТ-условий растворов в смене геохимических обстановок. Данные процессы могут значительно изменять степень их проницаемости за счет сжатия и кольматации вторичными минералами вплоть до прекращения по ним миграции флюидов. Также не делается различий между разломами отрывного и сдвигового типа, где в первом случае зона динамического воздействия (разрушения) горных пород характеризуется областью наибольшей их механической нарушенности по сравнению со вторым типом [10]. Специальных работ по исследованию проницаемости газонасыщенных флюидов по разломам во времени не проводилось, но на основе данных современной геодинамики разломов можно говорить об их перманентной активизации экзогенными или эндогенными процессами за счет параметрических деформаций, проявляющихся в самих разломных зонах [11]. Активизация деформационных процессов в локальной области разломной зоны (по глубине и ширине) определяется вариациями жесткости пород, изменением порового давления, плотностью флюида и др. Этот кратковременный (до одного года) процесс характеризуется разупрочнением пород и может характеризоваться интервалом флюидоперетоков в данной зоне.

Условия региональных особенностей образования разломов в континентальной коре представлен в работе [12], где обсуждаются тектонофизические представления генезиса региональных сейсмических границ, как смены уровней трещиноватости при смене реологической реакции горных пород на возрастающие давление и температуру с глубиной. Данная смена реологии, по мнению авторов этой работы, приводит к тектонической расслоенности земной коры. На рис. 3 приведены результаты реологических исследований, отражающих общую схематическую классификацию неупругости и разрушения горных пород, связанных с ориентацией зон разломов.

При деформационных воздействиях на горные породы в области 1, характеризующейся большим растяжением, чем область 2, будут формироваться зоны разломов отрывного типа. Т. е. преимущественно в этой области разломы будут иметь субвертикальный характер. При больших боковых давлениях (область 2а) борта разломов будут смыкаться и сдвиговая компонента будет возникать уже там, где касательные усилия могут реализоваться в условиях горизонтального сжатия пород, образуя сдвиговые разломы. Причем, на рис. 3 в области 2а можно наблюдать разломы как субвертикальной направленности, так и выполаживающиеся до уровня 35 градусов.

Приведенные данные об ориентации разломных зон в интервалах глубин области 1 можно с определенными ограничениями распространить и на прочносвязанные породы осадочного чехла НГБ, что позволяет говорить об их вертикальном характере в этой области.

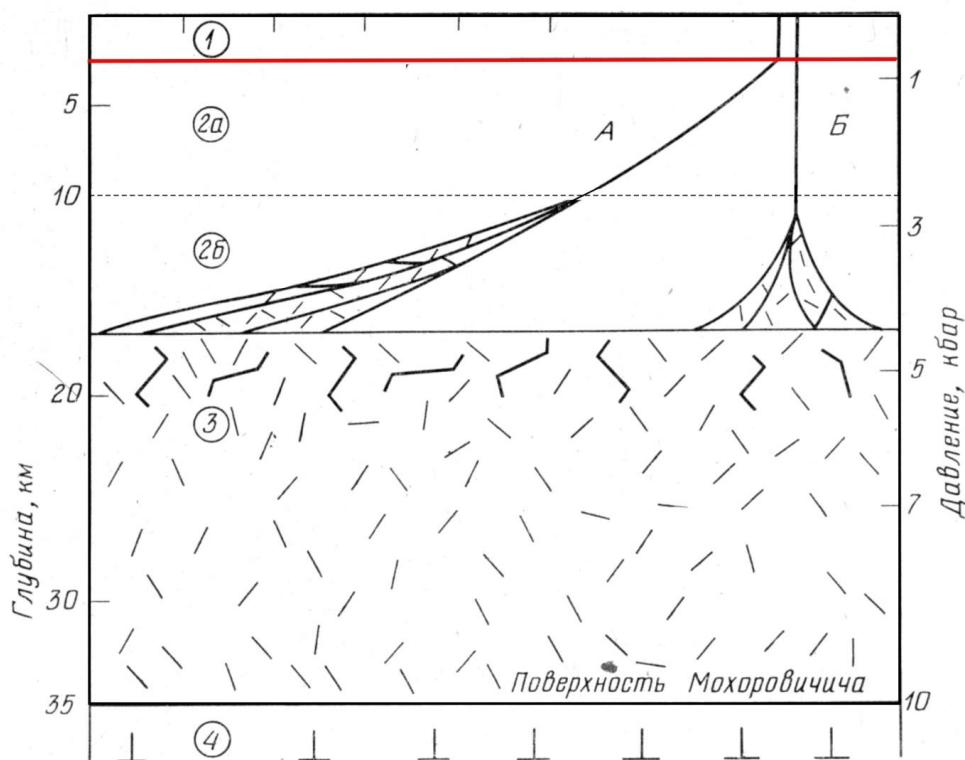


Рис. 3. Схема вертикальной ориентации разломов и развития трещиноватости в континентальной коре (по данным [12]): 1 — область хрупкого разрушения типа отрыва; 2а — область образования сколов (хрупкое разрушение); 2б — область локализованного течения (волновод); 3 — область однородного псевдопластического течения; 4 — область однородного пластического течения. Пояснения к рисунку в тексте

На рис. 3 видно, что до глубины 2–3 км выделяется область 1 с преимущественным развитием хрупких разрывов типа «отрыв». Эта область ограничивается снизу региональной границей, показанной красной линией. Ниже области 1 происходит смена хрупкого разрушения горных пород на хрупкое разрушение сколового типа (область 2), где в верхней ее части (2а) развиваются разрывы сколового типа, имеющие пространственную ориентировку, определяемую направлением главных нормальных напряжений. Основополагающим для углов наклонов разломных зон в области 2а будет иметь случай А, если одно из главных напряжений вертикально. Если главные оси наклонны, то зона разлома может иметь вертикальный характер и выходить на поверхность области 1 ортогонально (случай Б).

Отметим, что проницаемость разломных зон раздвигового типа выше, чем у разломов, образованных сдвигом. При этом процесс «залечивания» разломных зон, образующихся на этапах активизации геодинамических процессов, в условиях сжатия (область 2а) будет идти быстрее, чем в зоне растяжения на этапах отсутствия геодинамических движений.

Обсуждение

Рассмотренные тектонические условия регионального и локального характера происхождения антиклинальных структур и зон разломов в осадочном чехле дает возможность высказать предположения в пользу геодинамической позиции образования месторождений УВ и их поисков.

Важно отметить, что антиклинальные структуры, образованные за счет горизонтального сжатия, рифовых построек и облекания осадочными породами выступов фундамента, могут быть ловушками скопления углеводородов при наличии в их структуре трещинных коллекторов. Обычно эти структуры характеризуются небольшими линейными размерами (15–20 × 20–25 км) и амплитудами до 10–15 м, в которых углы наклона крыльев антиклинальных складок измеряются в пределах до 1,0 градуса.

С позиции авторов монографии [13] для заполнения таких ловушек принцип дифференциального улавливания, а также латеральной миграции углеводородов в растворенном виде не способны создать месторождений. Это связано с тем, что подвижность УВ в виде обособленной фазы может возникнуть, если в породе существуют трещины, так как процесс диффузионной транспортировки вещества по направлению от микрокапель в трещины принципиально возможен, если трещины связаны между собой в единую проводящую структуру. На рис. 1а представлены зоны образования касательных напряжений, которые являются потенциальными зонами сколовых трещин. Если такая система формируется при вертикальных нагрузках (движениях) на породы осадочного чехла, то данные сколовые трещины не будут являться проницаемыми для флюида. Для того, чтобы система представляла связанную проводящую трещиноватую структуру, в нее надо под давлением закачать флюид, т. е. произвести гидроразрыв в пластах. Данный процесс может быть реализован за счет внедрения флюида, поступающего под давлением с больших глубин по вертикальным зонам разломов (см.

рис. 1б), что невозможно осуществить за счет его боковой миграции.

Формирование зон сколовых напряжений в разрезе поднятия на последующих этапах активизации геодинамических процессов определяют формирование зон рассеивания углеводородов, которые характеризуются как «рассеивающие толщи» и являются предварительными ловушками.

Исследованиями генезиса локальных поднятий в пределах Балтийской синиклизы [14] показано, что небольшие структурные ловушки нефти возникли в осадочном чехле в результате подвижек отдельных блоков кристаллического фундамента по разделяющим их разрывам и не относятся к структурам «облекания». Подобные небольшие месторождения на границе со структурами фундамента могут образовываться в области развития максимальных касательных и нормальных напряжений, как показано на рис. 1а и 1б на примере тюменской и абалакской свит. При повторных активизациях вертикальных движений блоков фундамента данные залежи могут быть расформированы, что довольно часто наблюдается для нефтяных месторождениях, залежи которых расположены выше этой области.

Образование многопластовых залежей в осадочном чехле, которые располагаются друг над другом в области 2а и области 1 (см. рис. 3), должны отражать последовательность нескольких этапов активизации геодинамических процессов. При этом, как показано в работе [5], вертикальные движения блоков фундамента способны создавать интервалы аномально высокого пластового давления в разрезе осадочного чехла.

Горизонтальное заполнение флюидами сколово-трещинных коллекторов, сформировавшихся в разрезе антиклинального поднятия и представляющих собой покрывки разного типа, а также существующих водоносных горизонтов, будут осуществляться по вертикальным зонам отрывных трещин (разломов), которые характерны для областей *2a* и *1* на рис. 3.

Рассмотрение результатов физического моделирования процесса формирования локальных структур на рис. 2, который осуществлялся ступенчатым нагружением твердых блоков на эквивалентные материалы, моделирующие осадочные породы, показывает, что в процессе эксперимента на начальных его стадиях образовывались разломы отрывного типа, которые при увеличении амплитуды локального поднятия стали разломами сдвигового типа.

Рассмотрение региональных закономерностей смены уровней трещиноватости при смене реологической реакции горных пород на возрастающие давление и температуру с глубиной дает возможность дополнительного обоснования фазового состояния УВ-систем в разрезе многопластовых месторождений и миграционных свойств разломов.

Например, в работе [13] приводятся данные о гидростатических давлениях флюидных систем. Авторы отмечают, что до глубин 2–3 км давление обычно соответствует гидростатическому, закономерно возрастая до 20–30 МПа, а ниже, уже на глубине 4–6 км, превышает его в 1,5–2,0 раза (60–100 МПа). Если рассматривать данную закономерность на основании рис. 3, на котором проведена граница на глубине 2,5 км (красная линия), отделяющая зону растяжения от зоны сжатия, то зона закономерного возрастания гидростатических давлений относится к зоне

растяжения, а резкого увеличения давлений – к зоне сжатия. Такой характер давлений в зоне *2a* (см. рис. 3) может быть вызван сменой типа разрушения с «отрыва» на «образования сколов», что может приводить к уменьшению проницаемости в твердых породах. Как отмечают авторы работы [13], при таких высоких давлениях в области *2a* газовый поток проявляет свойства, присущие жидкостям.

Тектонофизические условия глубоких осадочных бассейнов позволяют говорить о практической непроницаемости зон разломов в области сжатия (*2a*), показанной на рис. 3. Для активизации их проницаемости необходимо создать условия, когда в этой области вертикальные напряжения превысят горизонтальные. Такая ситуация возможна, если вертикальные движения жестких блоков фундамента способны оказать деформационное воздействие на породы осадочного чехла.

Если рассмотреть миграционные свойства разломов в области *1* (см. рис. 3), находящейся в условиях растяжения, то по данным Ю.О. Кузьмина [15] она является зоной проявления современной геодинамики разломов, активизация которых возникает за счет процессов параметрического возбуждения в самих зонах в обстановке региональных квазистатических полей напряжений. Отметим фундаментальную закономерность данных процессов, состоящую в том, что активность разломных зон затухает на глубинах 2,0–2,5 км, которая является границей перехода к зоне сжатия. Это означает, что на месторождении или отдельных залежах многопластового месторождения, расположенных в области *1*, часть разломной зоны, пересекающей ее, будет характеризоваться кратковременными периодами миграции УВ, если она пересекает флюидонасыщенные пласты.

Очевидно, что при формировании углеводородных структур, наряду с имеющимися факторами по оценке вероятности открытия месторождения, геодинамические условия являются также важными критериями на поисково-разведочных стадиях для успешного открытия экономически рентабельных объектов разработки.

На сегодняшний день методов палеогеодинамического анализа практически не разработано. Часто под геодинамическим анализом понимают палеотектонический, который позволяет в общем оценить разнонаправленные движения, в которые вовлечены локальные поднятия, но не выявляет причин этих изменений и не может дать оценку относительных деформаций в породах исследуемой структуры на предмет выявления зон отрывных разломов и зон разупрочнения пород в разрезе.

Разработка методических подходов палеогеодинамического анализа на основе методов современной геодинамики [16] предложена в работе [17], которая выполнена на примере Касимовской структуры.

Выводы

Анализ факторов риска на этапе геологоразведочных работ представляет собой суммарную оценку наиболее вероятных условий образования месторождений, способных ответить на вопрос – является ли изучаемый объект перспективным для его разработки. В качестве основных методов исследований применяются сейсморазведка разного масштабного уровня, магниторазведка и разведочное бурение, на основе которых и делаются окончательные выводы.

Из проведенного автором данной статьи анализа методов обработки

сейсмических данных оказалось, что данный метод не позволяет выявлять зоны разломов сдвигового типа с амплитудой 5–10 м, а также зоны разломов отрывного типа, проявляющихся в виде зон потери корреляции. Также отметим, что на геологоразведочных стадиях, не имея детальной информации по пространству, применяемые математические методы обработки сейсмогеофизических данных при изменении какого-либо параметра условий подбора могут приводить к множеству различных геологических выводов о строении месторождения. В связи с этим приведенные выше аналитические исследования роли геодинамических факторов, оказывающих влияние на повышение вероятностной оценки при поисковых работах, позволяют скорректировать геологическую модель предполагаемого месторождения в области структурной неоднородности, установить наличие связи между продуктивными объектами, дать оценку ложных покрышек, а также вертикальных перетоков флюидов при его разработке.

В связи с тем, что геодинамические процессы формирования локальной структуры отражают относительный характер изменения вертикальных деформаций в геологическом времени по отношению к примыкающей к ней территории, не подвергавшейся аномальным геодинамическим процессам, поэтому важным условием разработки метода палеогеодинамического анализа должно быть выявление геолого-стратиграфических условий, не связанных с процессами локальной геодинамики. Такой подход позволит определить реперные точки с целью более объективной оценки уровня деформации, которой были подвергнуты породы (пласты) месторождения.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания ИПНГ РАН (тема «Совершенствование методов моделирования, лабораторных и промысловых исследований для создания новых технологий эффективного экологически чистого извлечения углеводородов в сложных горно-геологических условиях», № 122022800272-4).

Литература

1. *Галкин С.В.* Вероятностный прогноз геологических рисков при поисках месторождений нефти и газа. Пермь: Книжный мир, 2009. 223 с.
2. *Георгиевский Б.В., Бочкарев В.А.* Оценка вероятности геологического успеха зависимых поисковых объектов при поисках месторождений УВ // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2015. № 11. С. 25–39.
3. *Георгиевский Б.В., Бочкарев В.А.* Оценка вероятности геологического успеха при поисках месторождений УВ (на примере объектов Западной Африки) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 8. С. 4–19.
4. *Хитров А.М., Данилова Е.М., Коновалова И.Н., Попова М.Н.* О рисках геолого-разведочных работ на приразломные залежи углеводородов // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. 2023. № 4(220). С. 20–32. [https://doi.org/10.33285/1999-6942-2023-4\(220\)-20-32](https://doi.org/10.33285/1999-6942-2023-4(220)-20-32)
5. *Никонов А.И.* Геодинамические факторы стратификации многопластовых месторождений углеводородов: образование зон горизонтальной трещиноватости и вертикальной пространственно-временной проницаемости в пределах локальных структур // SOCAR Proceedings. 2022. № S2. С. 9–16. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200720>
6. Временное положение об этапах и стадиях геологоразведочных работ на нефть и газ: Приказ МПР РФ от 7 февраля 2001 г. № 126 «Об утверждении временных положения и классификаций» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. <https://docs.cntd.ru/document/901785112>
7. *Косыгин Ю.А.* Тектоника. М.: Недра, 1969. 616 с.
8. *Косыгин Ю.А.* Тектоника нефтегазоносных областей: В 2 т. Т. 1. Общая тектоника. М.: Гостоптехиздат, 1958. 513 с.
9. *Бондаренко П.М., Зубков М.Ю.* Прогноз зон вторичной трещиноватости на основе данных сейсморазведки и тектонофизического моделирования // Геология нефти и газа. 1999. № 11–12. С. 31–40.
10. *Кузьмин Ю.О.* Современные аномальные деформации земной поверхности в зонах разломов: сдвиг или раздвиг? // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 3. С. 967–987. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0379>
11. *Семинский К.Ж.* Внутренняя структура континентальных разломных зон. Тектонофизический аспект. Новосибирск: Изд-во СО РАН, фил. «ГЕО», 2003. 244 с.
12. *Николаевский В.Н., Шаров В.И.* Разломы и реологическая расслоенность земной коры // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1985. № 1. С. 16–28.
13. *Баталин О.Ю., Вафина Н.Г.* Конденсационная модель образования залежей нефти и газа. М.: Наука, 2008. 248 с.

14. *Отмас А.А., Чегесов В.К., Арутюнов В.А.* Структура осадочного чехла и история тектонического развития региона // Геология, геофизика и разработка нефтегазовых месторождений. 2006. № 8. С. 4–13.

15. *Кузьмин Ю.О.* Индуцированные деформации разломных зон // Физика Земли. 2019. № 5. С. 61–75. <https://doi.org/10.31857/S0002-33372019561-75>

16. *Кузьмин Ю.О.* Идентификация результатов повторных геодезических наблюдений при оценке геодинамической опасности объектов недропользования // Вестник СГУГиТ. 2018. Т. 23, № 4. С. 46–66.

17. *Никонов А.И.* Совершенствование геолого-фильтрационных моделей подземных хранилищ газа на геодинамической основе // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений 2017. № 12. С. 28–35.

Информация об авторе

Александр Иванович Никонов – к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия, nikson59@rambler.ru

Поступила в редакцию 01.11.2023

Increasing the reliability of the probabilistic assessment of the forecast for identifying oil- and gas-bearing local structures during geological exploration work on a geodynamic basis

A.I. Nikonov

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
E-mail: nikson59@rambler.ru

Abstract. On the basis of tectonophysical models at the regional and local levels, the paper provides an analysis of the role of geodynamic factors that increase the likelihood of assessing the detection of oil- and gas-bearing structures at geological exploration stages. It proposes a consideration of geodynamic criteria during prospecting works to develop and substantiate scientific and methodological approaches to the possibility of accumulation and preservation of hydrocarbon components in the sedimentary cover structures. The obtained results allow to correct the geological model of the proposed field in the area of structural heterogeneity, to reveal the connection between productive formations, as well as the other factors, for the successful discovery of economically viable development targets.

Keywords: tectonophysical modeling, geodynamic factors, fault zones, oil- and gas-bearing structures, field prospecting

Citation: *Nikonov A.I.* Increasing the reliability of the probabilistic assessment of the forecast for identifying oil- and gas-bearing local structures during geological exploration work on a geodynamic basis // Actual Problems of Oil and Gas. 2023. Iss. 4(43). P. 17–30. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-43.art2> (In Russ.).

References

1. *Galkin S.V.* Probabilistic forecast of geologic risks during oil and gas field prospecting. Perm: Knizhnyi Mir, 2009. 223 p. (In Russ.).
2. *Georgievskiy B.V., Bochkarev V.A.* Assessment of probability of geological success for the interdependent prospects in HC exploration // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. 2015. No. 11. P. 25–39. (In Russ.).
3. *Georgievskiy B.V., Bochkarev V.A.* The geological success probability assessment for HC field exploration (on example of West Africa exploration targets) // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. 2014. No. 8. P. 4–19. (In Russ.).
4. *Khitrov A.M., Danilova E.M., Konovalova I.N., Popova M.N.* Geological exploration risks of near-fault hydrocarbon deposits // Problems of Economics and Management of Oil and Gas Complex. 2023. No. 4(220). P. 20–32. [https://doi.org/10.33285/1999-6942-2023-4\(220\)-20-32](https://doi.org/10.33285/1999-6942-2023-4(220)-20-32) (In Russ.).
5. *Nikonov A.I.* Geodynamic factors of multilayer hydrocarbon fields stratification: formation of horizontal fracture zones and vertical spatio-temporal permeability within local structures // SOCAR Proceedings. 2022. No. S2. P. 9–16. <https://doi.org/10.5510/OGP2022SI200720> (In Russ.).
6. Temporary Regulations on Stages of Geological Exploration for Oil and Gas: Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation “On Approval of Temporary Regulations and Classifications” from 7 February 2001 No. 126 // Electronic Fund of Legal and Normative and Technical Documents. <https://docs.cntd.ru/document/901785112> (In Russ.).

7. *Kosygin Yu.A.* Tectonics. Moscow: Nedra, 1969. 616 p. (In Russ.).
8. *Kosygin Yu.A.* Tectonics of oil- and gas-bearing areas: In 2 vols. Vol. 1. General tectonics. Moscow: Gostoptekhizdat, 1958. 513 p. (In Russ.).
9. *Zubkov M.Yu., Bondarenko P.M.* Prognosis of zones of secondary fracturing on the basis of seismic data and tectonophysical modelling // *Geologiya Nefti i Gaza*. 1999. No. 11–12. P. 31–40. (In Russ.).
10. *Kuzmin Yu.O.* Recent anomalous deformation of the ground surface in fault zones: shear or tensile faulting? // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. Vol. 9, No. 3. P. 967–987. <https://doi.org/10.5800/GT-2018-9-3-0379> (In Russ.).
11. *Seminsky K.Zh.* Internal structure of continental fault zones. Tectonophysical aspect. Novosibirsk: Publ. House of SB RAS, GEO Br., 2003. 244 p. (In Russ.).
12. *Nikolaevskii V.N., Sharov V.I.* Faults and rheological layering of the Earth's crust // *Izvestiya AN SSSR. Fizika Zemli*. 1985. No. 1. P. 16–28. (In Russ.).
13. *Batalin O.Yu., Vafina N.G.* Condensation model of oil and gas deposit formation. Moscow: Nauka, 2008. 248 p. (In Russ.).
14. *Otmas A.A., Chegesov V.K., Arutyunov V.A.* Structure of sedimentary cover and tectonic history of the region // *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2006. No. 8. P. 4–13. (In Russ.).
15. *Kuzmin Yu.O.* Induced deformations of fault zones // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2019. Vol. 55, No. 5. P. 753–765. <https://doi.org/10.1134/S1069351319050069>
16. *Kuzmin Yu.O.* Identification of results of repeated geodesic observations at the estimation of the geodynamic hazard of subsurface objects // *Vestnik SSUGiT*. Vol. 23, No. 4. P. 46–66. (In Russ.).
17. *Nikonov A.I.* Improvement of geological-filtration models of gas underground storage facilities on geodynamic basis // *Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields*. 2017. No. 12. P. 28–35. (In Russ.).

Information about the author

Aleksandr I. Nikonov – Cand. Sci. (Geol.-Min.), Leading Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, nikson59@rambler.ru

Received 01.11.2023