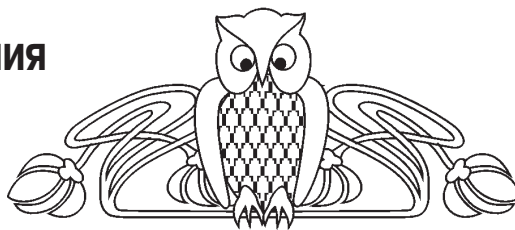




УДК 553.98.061.4(571.1)

ПАРАГЕНЕЗИСЫ И ИСТОРИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛИНИСТЫХ И ТИТАНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ ТЕРРИГЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ – ОСНОВА ПРОГНОЗА ЗОН НЕФТЕГАЗОНАКОПЛЕНИЯ



А. Д. Коробов, Л. А. Коробова, А. Т. Колотухин,
В. М. Мухин, Л. В. Елисеева

Саратовский государственный университет
E-mail: korobad@yandex.ru, korob@info.sgu.ru

На основе детальных литологических и геохимических исследований показано, что присутствие в терригенных породах гидротермального крупночешуйчатого структурно совершенного триклинного каолинита (в меньшей степени диккита) в ассоциации с регенерационным и микродрозовым кварцем свидетельствует о режиме слабого пульсирующего стресса, приведшего к нефтенасыщению вторичных коллекторов чехла. Развитие же аутигенных лейкоксена и анатаза в парагенезисе с новообразованным кальцитом контролировалось трещинами растяжения, которые переживали малоамплитудные колебания, исключающие стресс. Появление вторичных минералов TiO_2 , которые заметно увеличивают выход тяжёлой фракции, говорит о плохих экранирующих свойствах перекрывающих толщ и малой вероятности возникновения промышленных залежей углеводородов.

Ключевые слова: аутигенные лейкоксен, анатаз, каолинит, диккит; геодинамическая аномалия, трещины растяжения, тектоногидротермальная активизация.

Parageneses and Formation Histories of Clayey and Titanian Minerals from the West Siberian Terrigenous Reservoirs – the Basis for Predicting Oil and Gas Accumulation Zones

A. D. Korobov, L. A. Korobova, A. T. Kolotukhin,
V. M. Mukhin, L. V. Eliseyeva

Detailed lithologic and geochemical investigations were used to show that the presence of hydrothermal coarsely lamellar, structurally perfect triclinic kaolinite (to a lesser extent, dickite) in association with regeneration and microdrusy quartz in terrigenous rocks is indicative of the weakly pulsating stress regime contributory to oil saturation in the mantle secondary reservoirs. Development of authigenic leucoxene and anatase in paragenesis with newly formed calcite was controlled by extension fractures that used to withstand low-amplitude, stress-precluding oscillations. Generation of the TiO_2 secondary minerals markedly increasing the heavy-fraction yield testifies to the poor screening properties of the overlying sequences and low probability of commercial hydrocarbon accumulations.

Key words: authigenic leucoxene, anatase, kaolinite, dickite, geodynamic anomaly, extension fractures, tectonohydrothermal activation

Введение

Вся современная теория нефтегазообразования и все установленные закономерности на-

копления и размещения в земной коре нефти и газа были сформулированы исключительно под углом зрения депрессионного (или бассейнового) мировоззрения. С этих позиций для образования углеводородов (УВ) были необходимы в первую очередь: 1) длительный (сотни миллионов лет) и устойчивый режим тектонического прогибания; 2) погружение исходных материнских отложений на достаточную глубину, чтобы они оказались в условиях высоких температур (главная зона нефтегазообразования); 3) значительные геостатические давления, которые отжимали бы протонефть из нефтематеринских пород в пласты-коллекторы. При таком подходе температурные границы и отвечающие им глубинные интервалы, как правило, определяют вертикальную зональность нефтегазообразования и размещения залежей. Здесь важно подчеркнуть, что тепловые поля (кондуктивный теплоперенос), контролирующие границы главных фаз и главных зон нефте- и газообразования, в понимании Н. Б. Воссоевича, практически не изменяются во времени, т. е. остаются в статическом состоянии и характеризуют геостатический режим генерации УВ. Последний складывается из двух факторов: давления, которое в осадочной толще контролируется силами гравитации и температуры, определяемой установившимся тепловым (кондуктивным) полем. В условиях активного тектогенеза, который переживает большинство седиментационных бассейнов на пути их превращения в бассейны нефтегазоносные, распределение давлений и температур в осадочном чехле значительно усложняется. Поэтому закономерности, установленные для геостатической обстановки, существенно нарушаются и приходят в противоречие с новым фактическим материалом, полученным, в частности, на нефтяных и газовых месторождениях рифтогенных осадочных бассейнов.

Начавшийся со второй половины 80-х годов прошлого столетия флюидодинамический этап, призванный устранить вышесказанные противоречия, успешно развивается в настоящее время. Его особенность заключается в признании геологами эволюционно-динамических факторов генерации УВ и установлении генетических связей между динамикой трёх процессов: 1) мощного осадконакопления, б) интенсивного прогрева, протекающего в условиях как растяже-



ния, так и сжатия, в) активного нефтегазообразования. Принципиально новым при таком подходе является понимание геологами того, что прогрев осадочных пород связан не только и не столько с кондукционной передачей тепла, сколько с конвективным теплопереносом. Если первый механизм создаёт общий тепловой фон и контролирует региональный фоновый эпигенез погружения (стадиально-эпигенетические преобразования), то конвективные процессы определяют наложенный эпигенез. При этом надо чётко понимать, что процессы наложенного эпигенеза не являются продолжением стадиального. Они могут проявляться на любом этапе осадочного цикла с началом тектонической активизации. Наложённый эпигенез реализуется в новой особой автономной системе, которая отличается энергетическими источниками, способами транспортировки, механизмами извлечения и аккумуляции вещества.

Конвективный теплоперенос, по мнению Б. А. Соколова и А. Н. Гусевой (1993 г.), является серьёзным ускорителем генерации УВ. В периоды тектонической активизации происходит подъём вверх высокотемпературной газодынной смеси. Эта смесь по разломам и системе оперяющей трещиноватости попадает в нижние, средние и, вероятно, даже верхние части разреза осадочного чехла. Там высокая температура гидротерм активизирует процессы образования углеводородов на всех уровнях геологического разреза осадочных отложений. В силу этого главная зона нефте- и (или) газообразования может возникать и существовать по всему разрезу осадочных отложений в течение времени тектонической перестройки на участках, где создаются оптимальные для такого процесса температурные условия. Способствует этому исчезновение или резкое сокращение естественных преград на пути движущегося флюида за счёт утраты глинистыми отложениями экранирующих свойств. Дозказано [1], что в условиях высоких температур и минерализации циркулирующих вод на порядок и более увеличивается проницаемость смектитовых глин. В меньшей степени это касается глин каолинитовых. Следовательно, в седиментационных бассейнах в периоды тектонической активизации резко возрастала конвективная составляющая вертикального движения подземных вод (гидротерм). Свидетельством конвективного прогрева рифтогенных бассейнов могут служить широкое развитие гидротермальных процессов с появлением метасоматической зональности и сопряжённой с ней фазовой зональностью УВ, а также обогащённость залежей нефти и газа металлами и глубинными газами. Такой взгляд на проблему чрезвычайно важен для молодой Западно-Сибирской плиты (рифтогенного седиментационного бассейна), поскольку установлена прямая генетическая связь между рифтогенезом и возникновением осадочных бассейнов, с

одной стороны, и формированием в них крупных скоплений нефти и газа – с другой.

О развитии гидротермального процесса и участии горячих растворов в формировании продуктивных коллекторов рифтогенных осадочных бассейнов (в первую очередь Западной Сибири) в разное время писали В. П. Гаврилов [2], А. А. Розин [3], И. А. Иванов с соавторами [4], В. А. Баженов с коллегами [5], З. Я. Сердюк с соавторами [6], В. И. Дюнин [7], А. Д. Коробов с коллегами [8] и многие другие. Однако геологами не проводился анализ зависимости характера гидротермального (эпигенетического) изменения пород и поведения отдельных элементов от особенностей геодинамического режима территорий, на которых они залегают. Для решения этой проблемы рассмотрим гидротермальный минералогенез в контрастных обстановках: в трещинах преимущественного растяжения и вмещающих их породах Обь-Иртышского междуречья и зонах разноинтенсивного пульсирующего стресса Красноленинского свода. Это даст возможность выделить минералы-индикаторы различных геодинамических обстановок и с их помощью решать обратную задачу – проводить районирование территории по степени тектонической напряжённости. А это, в свою очередь, позволит прогнозировать различные типы коллекторов в породах фундамента, переходного комплекса и чехла, а также вероятность их насыщения УВ и сохранения залежей.

Обь-Иртышское междуречье

В восточной части Обь-Иртышского междуречья наблюдаются участки с аномально высокими скоплениями глубинного CO₂, локализованные в зоне контакта складчатого основания и осадочных толщ. Вдоль разломов и оперяющей трещиноватости на этих площадях вторичному изменению подверглись отложения юры, мела, а также граниты палеозойского основания. Среди континентальных толщ юры (ааленский, байосский, батский яруса) преобразования охватили прежде всего грубозернистые разности пород – песчаники и крупнозернистые алевролиты. Нижнемеловые отложения (валанжинский и готерив-барремский яруса), вовлечённые в гидротермально-метасоматическое перерождение, сложены алевролитово-песчаными породами. Аутигенные минералы представлены каолинитом, карбонатами кальция, железа, магния, а также лейкоксеном, анатазом, пиритом. Каолинит и карбонаты на отдельных участках развиты чрезвычайно широко [9].

При литологических исследованиях отложений юрского и мелового возраста Обь-Иртышского междуречья (на Межовской, Веселовской и Чебачьей площадях) было установлено [9, 10], что, несмотря на одинаковый характер наложенного вдоль разломов гидротермального



изменения осадочных толщ, только алевролитово-песчаные породы валанжинского и готерив-барремского ярусов содержат в своём составе аутигенные выделения титанистых минералов. Последние связаны своим происхождением главным образом с процессами разложения и метасоматического замещения терригенного материала. Новообразованные минералы TiO_2 являются маркерами аномально измененных пород неоккома [9].

Рассмотрим особенности процессов наложенного преобразования сначала в меловых, а затем в юрских отложениях и попытаемся объяснить избирательность накопления TiO_2 в трещинах растяжения [11] и вмещающих их валанжинских и готерив-барремских породах в периоды тектонической активизации.

Вторичные процессы, протекавшие в меловых отложениях

Отложения валанжинского и готерив-барремского ярусов Обь-Иртышского междуречья, не затронутые вторичными изменениями, имеют кварц-полевошпатовый комплекс породообразующих минералов при высокой роли хлорита и гидрослюды в цементе, а также сфен-эпидотовый комплекс руководящих акцессорных минералов. В обломочной части пород указанного возраста содержание полевых шпатов 50% и более, а кварца 30–35%, отмечено также присутствие обломков пород и слюды. В акцессорном комплексе алевролитово-песчаных пород количество эпидота, цоизита, клиноцоизита в сумме 30–65%, сфена 15–20%, суммарное содержание анатаза, ильменита, лейкоксена 15–20% [9, 10].

Окисные соединения титана являются обычными минералами для некоторых магматических и метаморфических пород, где они присутствуют или как первичный (чаще акцессорный) компонент, или как вторичный продукт разрушения более сложных по составу титансодержащих минералов (силикатов, двойных солей и др.)

В осадочных породах рутил, брукит, анатаз и лейкоксен входят в число обломочных зёрен терригенных осадков, а также встречаются в виде новообразований, возникших в процессе диагенетических и более поздних превращений осадочного материала.

В одних случаях аутигенные титановые минералы возникают за счёт изменений титансодержащих минералов из обломочных пород [9, 10, 12, 13]. В других случаях очевидна генетическая связь титанистых новообразований с органическим веществом [14–16].

Установлено, что в песчаниках и алевролитово-песчаных породах валанжинского и готерив-барремского ярусов, испытавших гидротермальную каолинизацию, которая в дальнейшем сменяется кальцитизацией, отмечается появле-

ние вторичных титансодержащих минералов – лейкоксена и анатаза [9, 10].

Аутигенный лейкоксен представлен неправильными бесформенными зёрнами или образует оторочки вокруг кристаллокластов. Под микроскопом в проходящем свете они кажутся темно-коричневыми, почти черными, а в скрещенных николях нередко обнаруживают точечную тусклую поляризацию, видимо, вследствие частичной раскристаллизации лейкоксенового вещества.

Новообразованный анатаз формируется в виде совершенных правильных призматических и таблитчатых кристаллов размером 0,005–0,300 мм. Он развивается по цементу и отдельным зёрнам полевых шпатов, слюд, сфена. При изменении сфена, наряду с лейкоксеном и анатазом, возникают мельчайшие кристаллики кварца, а также микрокварцит и кальцит.

Каолинит формируется по зёрнам полевых шпатов, слюды, обломкам неустойчивых пород и акцессорных минералов. Новообразования каолинита наблюдаются также по цементу, представленному хлоритом и гидрослюдой. Акцессорные минералы – эпидот, цоизит, клиноцоизит, сфен – полностью или частично преобразуются в каолинит.

В процессе каолинизации терригенных пород содержание полевых шпатов (доминирующего компонента) значительно снижается. Иногда процесс настолько интенсивен, что все неустойчивые минералы терригенного комплекса преобразованы в каолинит. От зёрен полевых шпатов сохраняются лишь контуры, выраженные тонкой плёнкой хлорита с едва заметным крустификационным строением. Эти контуры чётко различаются в проходящем свете в шлифах под микроскопом. При скрещенных николях видно, что порода состоит из сплошного каолинитового агрегата, в котором просматриваются лишь единичные разрозненные зёрна устойчивых к разрушению кварца и микрокварцита.

Каолинит представлен бесцветными анизотропными чешуйками и их веерообразными, гармошковидными, червеобразными агрегатами. Иногда он наблюдается в виде розеток, табличек и стопочек размером 0,02–0,05 мм. Ему присущи отчетливая спайность по оси «с» и совершенство кристаллической решётки, что подтверждено рентгеноструктурными исследованиями [6, 9, 10].

Песчаники в зонах максимальной каолинизации превращаются в гидротермально-метасоматическую породу, сохраняющую свой структурно-текстурный облик. При характеристике данных образований важно подчеркнуть два обстоятельства. Во-первых, они сложены реликтовым кварцем и микрокварцитом, а аутигенные минералы представлены исключительно структурно совершенным триклинным каолинитом [6]. Во-вторых, кварц и фрагменты микро-



кварцита сохраняют морфологию обломочных зёрен терригенных пород, т. е. не испытывают катаклаза, регенерации, растворения или перекристаллизации.

Иногда на участках, где сочетается два разновременных процесса, породы представлены в виде кальцит-каолинитового (каолинит-кальцитового) агрегата.

Кальцит развивается по сохранившимся от предшествующей аргиллизации ингредиентам алевролитово-песчаных пород. Его формирование очень напоминает процесс каолинизации. В первую очередь подвергаются изменениям полевые шпаты. В шлифах чётко видны их контуры или реликты при полном или частичном замещении кальцитом. Новообразования кальцита наблюдаются также по слюдам и цементу, представленному гидрослюдой и хлоритом. Эпидот, цоизит и клиноцоизит также в различной степени преобразуются в кальцит [10].

Карбонаты (преобладающий кальцит) заполняют поры между сохранившимися обломками, где формируют базальный или пойкилитовый цемент, частично замещают первичный цемент, а также залечивают секущие их трещины. Комплексными исследованиями установлено генетическое родство карбонатов в порых (образующих базальные и поровые цементы) и трещинах растяжения терригенных пород [6]. На участках, где кальцит становится особенно «агрессивным», наблюдается резкое усиление коррозии и метасоматоза кластогенных ингредиентов и цемента. Отмечаемая масштабность процесса приводит к тому, что кальцит замещает в ряде случаев до половины обломочных зёрен. При этом возникают породы, названные А. В. Копелиовичем [17] вторичными известняками.

Интересны взаимоотношения аутигенных титановых минералов с сидеритом. Наши наблюдения и анализ опубликованных источников [6] показывают, что в юрских континентальных отложениях восточной части Обь-Иртышского междуречья, где в отдельных фациях много сгустков сидерита и сидерит обильно сопровождает углистые остатки, в изменённых разностях пород новообразованных минералов титана нет.

Из литературных данных [9, 10, 12, 13] известно, что различные ингредиенты обломочных пород содержат в качестве изоморфной примеси титан. Очевидно, что гидротермально разрушенные кластогенные минералы, а также первичный цемент могли служить источником этого элемента при формировании титановых минералов в нижнемеловых отложениях Обь-Иртышского междуречья. Подтверждением сказанному служит тот факт, что терригенные породы неокоского возраста, не подвергшиеся каолинизации и кальцитизации, не обнаруживают новообразованных титанистых минералов, хотя химические анализы показывают устойчивое повышенное

содержание в них TiO_2 : в песчаниках и алевролитах 0,85–1,15%, а в аргиллитах 1,00–1,14% [10]. Титан входит в состав сфена (в количестве 40,8 %), который также представлен в этих отложениях.

Разложение пород, как уже отмечалось, протекало в две стадии: раннюю кислотную (каолинизация) и позднюю щелочную (кальцитизация). Если допустить, что каолинизация терригенного комплекса и первичного цемента пород приводила к высвобождению титана из состояния его рассеяния в алюмосиликатной массе, то кальцитизация должна была способствовать его аккумуляции. В зависимости от физико-химических условий, и прежде всего от кислотности-щелочности среды, которая контролировалась тектонической ситуацией [18], титан или подвергался минерализации «на месте» в непосредственной близости (связи) с материнским кластогенным материалом, или успевал мигрировать на некоторое расстояние, или вообще покидал пластовую систему. Чтобы представить себе механизм накопления аутигенных титанистых минералов, разберем обстановку смены каолинизации кальцитизацией при тектонической перестройке региона.

Обязательным условием каолинизации является растворение значительной минеральной части алевролитово-песчаных пород. Подвижные компоненты должны выноситься на заметные расстояния, иначе реакция прекратится. Если исходить из традиционных геостатических представлений, то в условиях гидрогеологической закрытости наиболее вероятным фактором перемещения растворов, по мнению Б. А. Лебедева и его коллег [19], является разность рН. Именно она обеспечивает в кислой среде образование каолинита, а в щелочной – отложение растворенных продуктов реакции с возникновением кальцита. Однако с позиций элементарной физики трудно себе представить, что различия концентрации H^+ могли быть тем энергетическим источником, который вызывал движение растворов. Проще и логичнее допустить, что в рассматриваемых районах Обь-Иртышского междуречья в период тектоно-гидротермальной активизации в открытых трещинах и вмещающих их породах существовал режим малоамплитудных колебаний (без стресса). Он создавал проточную систему с постоянно обновляемыми под действием глубинного CO_2 кислыми водами. Принципиально важным является то, что режим этих колебаний не должен был нарушать герметичность пласта. В этом случае могли осуществляться гидротермально-метасоматическая каолинизация и стягивание перемещающимися растворами подвижного титана к зонам нарушений.

Разгерметизация системы в условиях повышенного давления CO_2 , вызванная заметным усилением тектонических подвижек и активизацией трещинообразования, приводила к вскипа-



нию горячих растворов, потери углекислоты и ошелоачиванию вод. Это вызывало карбонатный метасоматоз (кальцитонакопление), который приходил на смену каолинизации (аргиллизации) с выпадением титана в виде вторичных минералов. Последние сосредоточивались в интерстициях между каолинизированными и (или) кальцитизированными кристаллокластами, а также в порах аналогичным образом изменённого гидрослюдистого, хлоритового цемента в виде бесформенных зёрен лейкоксена и хорошо раскристаллизованного анатаза. Процесс связан с резким увеличением (в два-три раза по сравнению с неизменёнными песчаниками) содержания вторичных титанистых минералов. За счёт этого заметно возрастает выход тяжелой фракции из пород [9].

Предложенный механизм аккумуляции элемента находится в полном соответствии с данными Б. Б. Полюнова [20], который установил, что среда для выпадения окиснотитановых минералов является слабощелочной ($\text{pH} > 7$).

Быстрому переходу от кислых условий к щелочным в таких случаях, видимо, способствовало высокое содержание CO_2 в проницаемых пластах в период тектоно-гидротермальной активизации. Косвенным свидетельством этого являются современные аномальные концентрации глубинной углекислоты в пределах рассматриваемой территории [3, 9, 11].

Сказанное позволяет сделать важный вывод, что резкое увеличение содержания аутигенных лейкоксена и анатаза и, как следствие, заметное возрастание выхода тяжелой фракции являются прямым признаком многократной разгерметизации пластовой системы и ошелоачивания вод за счёт трещин растяжения. Это говорит о плохих экранирующих свойствах перекрывающих толщ.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что формирование лейкоксена и анатаза протекало с участием горячих растворов в интервале температур 140–240° С, при которых образовывался и парагенетичный им кальцит, шедший на смену аутигенному каолиниту. Указанные температуры гомогенизации газовой-жидких включений в жильных кальцитах были определены В. Т. Лукьяновой [21] в триас-юрских отложениях Анохинской, Севастопольской, Карашиликской и Буланшской впадин Урало-Тургайского региона. Названные структуры имеют очень близкие с изолированными (локальными) впадинами Западной Сибири геотектоническую позицию и характер эпигенеза выполняющих их пород [8]. Эти температуры, соответствующие периоду тектоно-гидротермальной активизации, заметно отличаются от современных пластовых (90–100°С), которые были установлены А. А. Розинным и З. Я. Сердюк [9] в Межовском районе.

Имеются данные по другим регионам об участии горячих растворов в образовании аутигенных титанистых минералов. Так, на Ярегском

нефтетитановом месторождении (Южный Тиман) в среднедевонских терригенных породах выявлены промышленные скопления лейкоксена гидротермально-метасоматической природы [22].

Вторичные процессы, протекавшие в Юрских отложениях

Наши наблюдения и анализ литературных источников, как отмечалось, показывают, что в юрских континентальных отложениях на Чебачьей, Межовской и Веселовской площадях, затронутых наложенным эпигенезом, как правило, не отмечается выделение титановых минералов. В чём причины различного поведения TiO_2 в меловых и юрских толщах, преобразованных горячими растворами вдоль рассекающих их разновозрастных разломов и оперяющих трещин растяжения? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим особенности карбонатонакопления в юрских породах, поскольку, по аналогии с меловыми отложениями, именно с карбонатным метасоматозом связана аккумуляция подвижного титана.

Специальные исследования [9, 10] показали, что среди вторичных карбонатов юрских отложений доминируют сидерит, анкерит и доломит, а кальцит находится в подчиненном положении. Выявлены особенности их распределения по разрезу. Так, сидерит, в меньшей степени анкерит и доломит присутствуют в трещинах и порах грубозернистых пород юрской континентальной толщи на границе с фундаментом, а также в кровельной части пород самого складчатого основания. Характерно, что сидерит в таких случаях почти всегда генетически связан со структурно несовершенным каолинитом [8]. При удалении от зоны контакта «фундамент – чехол» вверх по разрезу происходит уменьшение разновидностей вторичных карбонатов и освобождение их от изоморфных примесей Fe и Mg. Вследствие этого доломит – анкерит – сидеритовая ассоциация минералов постепенно уступает свое место единственному минералу – кальциту [6]. Поэтому в районах дизъюнктивных нарушений мощного регионально выдержанного верхнеюрского глинистого экрана в вышележащих меловых алевролитово-песчаных породах появляются строго фокусированные зоны развития аутигенного кальцита. Сидерит там встречается весьма редко [9, 10].

В этой связи важно подчеркнуть, что в рассматриваемых отложениях два крайних члена в ряду карбонатных минералов (кальцит и сидерит) ассоциируют с каолинитом. Однако если в условиях высокого содержания CO_2 появление кальцита, идущего на смену каолиниту, играет определяющую роль в аккумуляции вторичных титанистых минералов (лейкоксена, анатаза), то



парагенезис сидерита с каолинитом такого результата не дает. В чём же тут дело?

Любопытны в этом отношении наблюдения Н. В. Ренгартен [15], которые показывают, что разложение в карбонатно-песчаных карбонатных бассейнах обуглившись растительных остатков с образованием сидерита или замещение углито-глинистых осадков каолинитом с примесью сидерита, как правило, не сопровождается возникновением титаносодержащих минералов. По мнению этого исследователя, в кислых восстановительных условиях, где господствует аутигенная каолинит-сидеритовая ассоциация, при повышенном давлении CO_2 титан выделяется из содержащих его минералов и органической массы. В такой обстановке он способен только к миграции и покидает с раствором пределы этого пласта. Аналогичные условия складывались в некоторых осадочных отложениях Западной Сибири.

Общеизвестно, что породы чехла этого региона отличаются различным содержанием органического вещества и неодинаковой способностью продуцировать кислые (рН около 6,0–6,5) восстановительные растворы, которые вызвали сидеритизацию и каолинизацию (иногда обесчелачивание) пород в процессе, получившем название «оглеение» или «глеевый эпигенез» [23]. На территории Обь-Иртышского междуречья встречаются континентальные юрские отложения, представленные фациями поймы, крупных озёр, застойных водоёмов и болот. В них в изобилии содержатся обуглившиеся растительные остатки. Поэтому в юрских аргиллитах, алевролитах и песчаниках весьма характерны сидеритизированные и каолинизированные разности пород и прослои сидерита [6], т. е. оглеённые отложения. Оглеению также способствуют крупные скопления («залёжи») глубинного CO_2 , обнаруженные в рассматриваемых толщах А. А. Розиным и З. Я. Сердюк [9].

Формирование минерального парагенезиса каолинит+сидерит – индикатора процесса оглеения [23] – происходит при низких значениях рН, обеспечивающих высокую подвижность титана. Однако, как отмечалось, в районах разрывных нарушений с переходом от юрских отложений к перекрывающим меловым в трещинах растяжения меняется баланс в системе карбонатов «сидерит – кальцит» в пользу последнего. Следовательно, если при тектонических подвижках, захвативших складчатое основание и осадочные породы, в континентальных толщах юры среда оставалась кислой (каолинит+сидерит), особенно в зоне контакта «фундамент–чехол», где сидерит доминирует, то в нижнемеловых отложениях при раскрытии трещин она резко менялась от кислой к щелочной (каолинит→кальцит).

Из этого вытекает важный вывод о том, что антагонизм между минералами TiO_2 и сидеритом обусловлен в нашем случае различными кислот-

но-щелочными условиями, необходимыми для их образования: кислая среда для сидерита и щелочная для двуокиси титана. Сохранению кислой среды и миграционной способности титана в континентальных юрских отложениях при тектонических подвижках способствовало нахождение на отдельных их участках большого количества обуглившись растительных остатков, продуцирующих органические (гуминовые, фульвиевые и пр.) кислоты. Кроме того, относительно слабая проницаемость пород (наличие верхнеюрского глинистого экрана) препятствовала разгерметизации пластовой системы, потере CO_2 и ощелачиванию нагретых вод. Следовательно, при тектоногидротермальной активизации физико-химическая обстановка минералогенеза в породах контролировалась в значительной степени составом самих пород, и прежде всего присутствием в них органического вещества.

Из вышеизложенного вытекает, что среди известных модификаций TiO_2 (рутил – анатаз – брукит) развитие именно анатаза в отложениях нижнего мела на Чебачьей, Веселовской и Межовской площадях не случайно. Оно свидетельствует о том, что гидротермальный синтез титанистых минералов протекал без участия или с минимальным количеством железа. Это соответствует исследованиям Н. В. Белова [24], которые показали, что при отсутствии железа в минералообразующей системе кристаллические модификации двуокиси титана строятся в виде анатаза в согласии с преимущественным значением в кристаллах кубической плотнейшей упаковки. Б. Ф. Горбачёв с коллегами [25] и А. А. Годовиков [26] в этой связи утверждают, что анатаз является наиболее устойчивой при относительно невысоких температурах и давлениях модификацией кристаллической TiO_2 .

Наблюдения Н. В. Ренгартен [15], Н. Э. Гернгарта [27], Б. Ф. Горбачёва с коллегами [25] и Э. Г. Сочневой [28] говорят о том, что анатаз часто возникает при раскристаллизации лейкоксена. Правильная форма аутигенных зёрен анатаза в меловых отложениях Обь-Иртышского междуречья свидетельствует о медленном процессе его возникновения. Кроме того, надо подчеркнуть, что анатаз в этих породах ассоциирует с триклинным структурно совершенным каолинитом (антистресс-минералом) [18]. Обстановка, способствующая такой кристаллизации, могла возникнуть только при наличии разбавленных растворов и отсутствии в системе минералообразования резких перепадов давления и температуры. Резкие изменения физико-химических параметров растворов при тектоно-гидротермальной активизации обусловлены, как нами было показано [18], часто повторяющимся пульсирующим характером бокового давления.

Из этого следует важный вывод, что гидротермальный процесс на Межовской, Веселовской и Чебачьей площадях, приуроченный к тре-



щинам растяжения и вмещающим их породам, протекал в тектонически относительно спокойных условиях. Как отмечалось, при этом обнаруживаются плохие экранирующие свойства перекрывающих толщ, которые не могли обеспечить сохранность флюида в нижнемеловых породах даже при малоамплитудных колебаниях. Данное обстоятельство необходимо учитывать при прогнозе продуктивных на УВ коллекторов. Однако здесь надо постоянно помнить, что разгерметизация пластовой системы, сосредоточенной в отложениях, богатых обуглившимися растительными остатками и залегающих ниже толщах, с которыми они гидродинамически связаны, не будет фиксироваться новообразованными лейкоксеном и анатазом.

Напомним, что гидротермально аргиллизированные (впоследствии кальцитизированные) алевролитово-песчаные породы, с которыми ассоциируют аутигенные титанистые минералы Обь-Иртышского междуречья, сложены исключительно структурно совершенным триклинным каолинитом. А реликтовые минералы представлены кварцем и микрокварцитом, которые не испытали в процессе наложенного изменения растворения, регенерации, перекристаллизации или катаклаза. Однако имеются примеры, когда изменившийся комплекс вторичных титаносодержащих минералов влечёт за собой изменение набора генетически сопряженных с ними слоистых и других силикатов.

Так, А. Е. Лукиным и О. М. Гариповым [12] на ряде нефтегазовых месторождений установлена чёткая прямая зависимость содержания в породе лейкоксена и катаклазированного кварца с концентрацией аутигенного диккита в ассоциации с триклинным каолинитом в поровом пространстве песчаников. Эта зависимость отражает уже совершенно иную геодинамическую обстановку минералообразования седиментационного бассейна. В свете наших исследований [18] описанный А. Е. Лукиным и О. М. Гариповым процесс интенсивной лейкоксенизации сфена, ильменита и других минералов Ti должен был протекать в тектонически напряжённых условиях бокового давления. На это указывает парагенезис плохо окристаллизованного лейкоксена с диккитом (стресс-минералом) и дробленным кварцем при отсутствии анатаза.

Наиболее активную с точки зрения геодинамической напряжённости зону представляет собой район Красноленинского свода. Остановимся подробнее на его рассмотрении.

Красноленинский свод

В районе Красноленинского свода, где расположено Талинское месторождение, сосредоточены пласты ЮК₁₀₋₁₁ шеркалинской пачки (верхний лейас). Эти пласты залегают в основании осадочного чехла Западно-Сибирской плиты и

представлены мелко-, средне- и крупнозернистыми песчаниками с прослоями гравелитов. Установлено, что породы шеркалинской пачки значительно улучшают свои фильтрационно-ёмкостные свойства и становятся высококачественными коллекторами в результате глубокого гидротермального преобразования – кислотного выщелачивания. Максимально переработанные терригенные (обычно разномасштабные и грубообломочные) породы представляют собой вторичные кварциты, среди которых различаются кварц-(диккит-каолинитовая) и (каолинит-диккит) -кварцевая фации [29]. Гидротермалиты этих фаций сосредоточены в породах шеркалинской пачки в зонах крупных разломов и оперяющей их трещиноватости, которые секут фундамент и осадочный чехол. Развитие фаций вторичных кварцитов, вызванное тектоно-гидротермальной активизацией, контролировалось проницаемостью исходных пород и удалённостью от разрывных нарушений.

Исходя из работ И. С. Грамберга с коллегами [30] и В. Г. Криночкина с соавторами [31], район Красноленинского свода в период тектоно-гидротермальной активизации представлял собой крупную геодинамическую аномалию Западно-Сибирской плиты. В истории её развития выделено две стадии (ранняя и поздняя), сильно различающихся по своей геодинамике [18].

Ранняя стадия активизации протекала в условиях очень высокой тектонической напряжённости, резкого пульсирующего режима стресса и сильной агрессивности горячих растворов. В зоне развития кварц-(диккит-каолинитовой) фации в слабопроницаемых алевролитах наблюдается начальная и последующие стадии замещения триклинным каолинитом и диккитом обломков изверженных пород, полевых шпатов, слюд, гидрослюд, хлорита, смешанослойных образований [12].

В самых проницаемых крупнозернистых песчаниках и гравелитах из приразломных зон новообразованный триклинный каолинит достаточно стремительно уступает своё место диккиту. В силу этого глинистые минералы цемента здесь практически нацело представлены диккитом.

На участках интенсивного выщелачивания (зоны разломов) в возникших крупных порах и кавернах продолжает доминировать диккит. Причём в одних случаях развиваются диккит и триклинный каолинит в виде белых тонкодисперсных агрегатов совместно с микрокристаллическим адуляром, в других – исключительно диккит. Последний образует на стенках каверн очень плотные тонкочешуйчатые скопления. Важно подчеркнуть необычность сонахождения диккита, каолинита и адуляра, поскольку эти минералы формируются в диаметрально противоположных физико-химических обстановках гидротермального процесса: диккит и каолинит в кислых, а адуляр в щелочных. Другой характер-



ной особенностью этого процесса является высокая дисперсность всех без исключения новообразованных минералов. На границе с зоной выщелачивания и окварцевания, где формируется (каолинит-диккит)-кварцевая фация, диккит начинал активно растворяться и часто полностью исчезал.

В зоне развития (каолинит-диккит)-кварцевой фации на ранней стадии активизации выщелачиванию подверглись карбонаты, полевые шпаты, слюды, хлориты, минералы группы каолинита, смешанослойные минералы, амфиболы и обломки эффузивов. Причём этот процесс сопровождался практически полным выносом продуктов разложения за пределы зоны, чему способствовал режим интенсивного пульсирующего стресса [18]. Всё это привело к появлению большого количества вторичных пустот, укрупнению макро- и микротрещин.

Размеры пустот колеблются от долей миллиметра до 4–6 мм. Они, как правило, соединены между собой системой трещин раскрытостью от 0,08 до 1,40–3,00 мм, в различной степени залеченных натёчными формами кремнезёма (опалом) и диккитом. Однако нередко пустоты выщелачивания лишены каких бы то ни было гидротермальных новообразований. Кроме того, в основной массе пород присутствует аутигенный тонкодисперсный кварц, имеющий размеры зёрен менее 0,01 мм и слагающий глинистую фракцию. Количество такого кварца составляет до половины общего содержания этой фракции в породе.

Поздняя стадия тектоногидротермальной активизации развивалась в обстановке угасающей тектонической напряженности, слабее пульсирующего режима бокового давления, снижения температуры и агрессивности нагретых растворов. Это определило нарастающий процесс минералонакопления, осуществляющийся при медленной кристаллизации из разбавленных вод. В зоне образования кварц-(диккит-каолинитовой) фации в это время происходило формирование диккит-каолинитового порового цемента и в меньшей степени возникновение регенерационной огранки у кластогенных кварцевых зёрен. Для преобразованных пород характерно невысокое (1–2%) абсолютное содержание каолинита и диккита. Причём количественное соотношение этих минералов в эпигенетическом цементе становится приблизительно одинаковым. На это обстоятельство необходимо обратить особое внимание, поскольку в период активного выщелачивания доминирующим минералом слоистых силикатов был высокодисперсный диккит.

Важно подчеркнуть, что в межзерновом пространстве гидротермально изменённых пород развиты крупнокристаллические (30–40 мк) идиоморфные разности каолинита и диккита, попадающие при отмучивании в алевритовую

фракцию. Причём совершенной морфологии в таких случаях соответствует и совершенная кристаллическая структура минерала.

В позднюю стадию тектоно-гидротермальной активизации в обстановке заметно ослабевшего пульсирующего стресса в зоне образования (каолинит-диккит)-кварцевой фации наблюдаются регенерация кластогенного кварца и развитие микродроз этого минерала в пустотах выщелачивания. В значительно меньшей степени отмечается формирование диккитового (каолинит-диккитового) порового цемента.

Своим габитусом кристаллы кварца здесь обязаны многочисленным регенерационным каёмкам, нарощенным на исходные разноокатанные и выщелоченные обломки этого минерала. Регенерационные каёмки обычно прерывистые, шириной от 0,015 до 0,100–0,200 мм. Процесс их образования происходил в несколько этапов, что подтверждается различными по температуре генерациями регенерирующего кварца [12]. На заключительных этапах регенерации отмечается захват битумов растущей кристаллической фазой. Поэтому поздний аутигенный кварц нередко содержит многочисленные включения пузырьков темноокрашенной жидкости – нефти.

За счёт регенерационных каёмок происходит значительное (в 2–3 раза) увеличение размеров исходных зёрен кварца, достигающих при этом 0,8–0,9 мм. Укрупнение кристаллов приводит к формированию гранобластовой структуры. Кроме того, регенерационные каёмки не просто залечивают изъяны и структуры растворения на поверхности кварцевых зёрен, а восстанавливают их правильную огранку (габитус).

Окварцевание, проявившееся в порах и кавернах выщелачивания, выразилось в образовании микродроз прекрасно ограненных водянопрозрачных кристаллов кварца, достигающих в зависимости от величины пустот размера 0,5–1,0 мм. Любопытно, что регенерационный кварц и вырастающий в кавернах микродрозовый кварц отличаются не только идиоморфизмом, но и тем, что имеют и более совершенную по сравнению с обломочным кварцем кристаллическую структуру, что подтверждается рентгеноструктурными исследованиями.

Вышеописанные процессы сопряжены с резким возрастанием прежней и без того высокой проницаемости осадочных образований. В итоге вторичные коллекторы шеркалинского горизонта, соответствующие по минеральному составу формации вторичных кварцитов, приобрели проницаемость от первых сотен миллиардов (мД) до 4,5 Д при пористости от 16 до 23%. Это обусловило сверхпроводимость пород, которые рассматриваются Р. А. Абдуллиным (1991 г.) как вторичные нефтенасыщенные суперколлекторы.

Из этого следует, что присутствие регенерационного кварца, а также триклинного структурно совершенного крупночешуйчатого каолинита



(в меньшей степени диккита) является главным минералогическим показателем возможной нефтенасыщенности коллекторов чехла. Поступление УВ в пласты ЮК₁₀₋₁₁ происходило в позднюю тектоно-гидротермальную стадию, чему способствовал ослабевший стресс, который в таком состоянии выступал в роли природного насоса, эвакуирующего нефтиды из нефтегазо-материнских пород в ловушки.

Важно подчеркнуть, что крупная геодинамическая аномалия Красноленинского свода могла успешно осуществлять функцию природного насоса благодаря надёжному флюидоупору. Известно, что характерной особенностью Красноленинского свода является исключительно глинистый состав фроловской свиты (К₁ неом), мощность которой составляет 527–625 м. Аналогичное геологическое строение имеет и примыкающая с востока территория, на которой расположена Фроловская нефтегазоносная область. Обе эти площади объединены в единую максимально закрытую геофлюидную систему, получившую название «фроловский барьер» [7, 32]. Эти обстоятельства привели к формированию очень крупных месторождений на западе Тюменской области.

Вместе с тем, сонахождение диккита, каолинита и адуляра в кварц-(диккит-каолинитовой) фации вторичных кварцитов, о чём упоминалось выше, свидетельствует о такой высокой активности пульсирующего стресса на раннем этапе, что даже «фроловский барьер» (если он уже существовал в полном объеме к этому времени) не мог препятствовать разгерметизации юрской пластовой системы. При этом происходило вскипание и резкое ощелачивание растворов с образованием адуляра [18]. В эти моменты, скорее всего, также могло осуществляться кальцитонакопление и формирование аутигенных титанистых минералов, как в Обь-Иртышском междуречье. Однако в позднюю стадию активизации, когда стабильно господствовали кислые условия среды, эти минералы, вероятно, были разрушены, а слагающие их элементы рассеяны.

Заключение

Подводя итог вышеизложенному, можно сделать следующие основные выводы.

Наблюдается чёткая корреляция между тектонической напряжённостью и

гидротермальным минерагенезом в породах рифтогенного осадочного бассейна.

Присутствие высокодисперсных кристаллов каолинита, диккита, адуляра, кварца, а также натёчных форм опала в почти монокварцевых породах с крупными кавернами выщелачивания характеризует развитие гидротермального процесса в условиях очень высокой тектонической напряжённости, режима резкого пульсирующего стресса и высокой агрессивности кислых горя-

чих растворов. Процесс, вызывавший ультракислотное выщелачивание, протекал в обстановке периодической разгерметизации пластовой системы и характеризовал активное состояние крупной геодинамической аномалии.

Присутствие микродрозового кварца, а также кварца с широкими регенерационными каёмками и крупночешуйчатого структурно совершенного триклинного каолинита (в меньшей степени диккита) в существенно кварцевых породах с крупными кавернами свидетельствует о развитии гидротермального процесса в обстановке сохраняющейся герметичности пласта при угасающей тектонической напряжённости и слабеющем пульсирующем стрессе. Благодаря хорошим флюидоупорным свойствам перекрывающих отложений ослабевший пульсирующий стресс способствовал эвакуации нефтидов из нефтегазоматеринских пород в ловушки с образованием крупных скоплений УВ.

Область развития аутигенных лейкоксена и анатаза (в ассоциации с триклинным структурно совершенным каолинитом и кальцитом), которые заметно увеличивают выход тяжёлой фракции из изменённых терригенных пород, соответствует зонам с минимальной тектонической напряжённостью. Эти зоны характеризуются тем, что гидротермальный процесс в них контролировался трещинами растяжения, переживавшими малоамплитудные колебания, исключающие стресс. Колебания таких трещин сопровождались многократной разгерметизацией пластовой гидротермальной системы, что говорит о плохих экранирующих свойствах перекрывающих толщ и малой вероятности возникновения промышленных залежей УВ.

Антагонизм между аутигенными минералами TiO₂ и сидеритом обусловлен различными кислотно-щелочными условиями, необходимыми для их образования.

При тектоно-гидротермальной активизации физико-химическая обстановка минералообразования в породах контролировалась в значительной степени составом самих пород, и прежде всего присутствием в них органического вещества.

Библиографический список

1. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П. Влияние температуры и минерализации подземных вод на проницаемость глинистых водоупоров // Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы : междунар. геол. конгр. 24-я сессия. М., 1980. С. 73–77.
2. Гаврилов В. П. Геодинамическая модель нефтегазообразования в литосфере и её следствия // Геология нефти и газа. 1998. № 6. С. 2–12.
3. Розин А. А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. Новосибирск, 1977. 102 с.



4. Иванов И. А., Негоденко С. В., Ковешников А. Е. и др. Геологическое строение месторождений нефти и газа верхней части палеозойских образований юго-востока Нюрольской впадины по данным комплексных минералогических и геолого-геофизических исследований // Геологическое строение и нефтегазоносность юго-востока Западной Сибири. Новосибирск, 1989. С. 40–49.
5. Баженов В. А., Тищенко Г. И., Раев В. Г. Постседиментационные изменения выветрелых палеозойских пород Нюрольского осадочного бассейна (Томская область) // Геология и геофизика. 1983. № 11. С. 61–66.
6. Сердюк З. Я., Яшина С. М., Запывалов Н. П., Шерихора В. Я. Об особенностях преобразования континентальных отложений юры Западной Сибири под воздействием глубинных факторов // Континентальный литогенез. Новосибирск, 1976. С. 123–134.
7. Дюнин В. И. Гидрогеодинамика глубинных горизонтов нефтегазоносных бассейнов. М., 2000. 472 с.
8. Коробов А. Д., Коробова Л. А., Киняева С. И. Гидротермальные процессы в палеорифтах Западной Сибири и их роль в формировании жильных ловушек УВ доюрского комплекса Шаимского района // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2004. № 12. С. 63–72.
9. Розин А. А., Сердюк З. Я. Преобразование состава подземных вод и пород Западно-Сибирской плиты под воздействием глубинного углекислого газа // Литология и полезные ископаемые. 1970. № 4. С. 102–113.
10. Розин А. А., Сердюк З. Я. К вопросу изучения разрывных нарушений в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты по минералого-петрографическим и гидрохимическим аномалиям // Тр. / СНИИГГиМС. 1971. Вып. 132. С. 84–89.
11. Сердюк З. Я., Эренбург Б. Г. О составе вторичных карбонатов, развитых в трещинах и порах пород фундамента и осадочного чехла Обь-Иртышского междуречья // Тр. / СНИИГГиМС. 1972. Вып. 149. С. 87–91.
12. Лукин А. Е., Гарипов О. М. Литогенез и нефтеносность юрских терригенных отложений Среднеширотного Приобья // Литология и полезные ископаемые. 1994. № 5. С. 65–85.
13. Сердюченко Д. П., Добротворская Л. В. О некоторых минеральных новообразованиях в осадочных породах // Докл. АН СССР. 1949. Т. 69. № 3. С. 119–122.
14. Вернадский В. И. Заметка о титане в биосфере // Тр. / Биохимическая лаборат. АН СССР. 1937. Вып. 4. С. 39–49.
15. Ренгартен Н. В. Минералы титана в угленосных осадочных породах // Тр. / ГИН АН СССР. 1956. Вып. 5. С. 125–132.
16. Казенкина Г. А. Аутигенные минералы титана в угленосных отложениях Западного Забайкалья (Тугнуйская депрессия) // Изв. Сиб. отд.-ние. АН СССР. 1958. № 4. С. 45–50.
17. Копелиович А. В. Эпигенез пород древних толщ юго-запада Русской платформы // Тр. / ГИН АН СССР. 1965. Вып. 121. 312 с.
18. Коробов А. Д., Коробова Л. А. Пульсирующий стресс как отражение тектоно-гидротермальной активизации и его роль в формировании продуктивных коллекторов чехла (на примере Западной Сибири) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. М., 2011. № 6. С. 4–12.
19. Лебедев Б. А., Аристова Г. В., Бро Е. Г. Влияние эпигенетических процессов на параметры коллекторов и покрышек в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности. Л.; 1976. 132 с. (Тр. ВНИГРИ. Вып. 361).
20. Полюнов Б. Б. Кора выветривания. Л.; 1934. 240 с.
21. Лукьянова В. Т. Катагенез в орогенных областях. М.; 1995. 168 с.
22. Колокольцев В. Г., Лисицына М. А. О гидротермальном метасоматическом генезисе лейкоксеновых руд Ярегского месторождения (Южный Тиман) // Вулканогенно-осадочное рудообразование. СПб, 1992. С. 89–91.
23. Перельман А. И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). М.; 1968. 332 с.
24. Белов Н. В. V. Очерки по структурной минералогии. 22. Рутил-анатаз-брукит-ильменит-гематит-колумбит // Минералогический сб. Львовского геолог. об-ва. 1954. № 8. С. 13–40.
25. Горбачёв Б. Ф., Власов В. В., Ситдинов Б. С. Об особенностях формирования аутигенного анатаза в зоне катагенеза // Литология и полезные ископаемые. 1964. № 5. С. 105–108.
26. Годовиков А. А. Минералогия. М., 1975. 356 с.
27. Гернгардт Н. Э. Лейкоксен в песчаниках-коллекторах нефтяных месторождений Южного Тиммана // Изв. вузов. Геология и разведка. 1962. № 6. С. 50–55.
28. Сочнева Э. Г. Лейкоксен из продуктивных горизонтов одного месторождения Европейской части СССР // Там же. 1970. № 7. С. 41–47.
29. Коробов А. Д., Коробова Л. А. Вторичные кварциты и пропилиты Западной Сибири – индикаторы нефтегазоперспективного рифтогенно-осадочного формационного комплекса // Разведка и охрана недр. 2012. № 4. С. 30–35.
30. Грамберг И. С., Горяинов И. Н., Смекалов А. С. и др. Опыт исследования напряженно-деформированного состояния Краснотеннинского свода (Западная Сибирь) // Докл. АН России. 1995. Т. 345, № 2. С. 227–230.
31. Криночкин В. Г., Балдина Н. А., Фёдоров Ю. Н. Особенности проявления тектонических нарушений в литологическом разрезе чехла Краснотеннинского свода (Западная Сибирь) // Актуальные вопросы литологии: материалы 8-го Уральск. литол. совещ. Екатеринбург; 2010. С. 168–169.
32. Абдрашитова Р. Н. Палеогидрогеологические аспекты нефтегазоносности Краснотеннинского свода Западно-Сибирского мегабассейна // Современная гидрогеология нефти и газа (фундаментальные и прикладные вопросы). М., 2010. С. 118–123.