

5. Горьков Ю.Д. Прогноз нефтегазоперспективных поднятий в межструктурных зонах //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2001. – Вып.25. – С.29-33.
6. Горьков Ю.Д., Леонова Т.Н., Леонов Г.В. Особенности тектонического развития и строения бортовой зоны Прикаспийской впадины на примере Дергачёвско-Озинского сегмента //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2002. – Вып.30. – С.61-66.
7. Горьков Ю.Д. Выявление разрывных нарушений с помощью геоморфологических критериев //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2005. – Вып.44. – С.36-43.
8. Горьков Ю.Д. Диапиризм в условиях пластового залегания соляных отложений //Недра Поволжья и Прикаспия. – 2012. – Вып.71. – С.20-28.
9. Подкаминер О.С. Приповерхностные блоки земной коры и их форма //Доклады АН СССР. – 1973. – Т.212. – № 4.

УДК 553.98.061.4(571.1)

### **ГИДРОТЕРМАЛЬНЫЙ МИНЕРАГЕНЕЗ КАК ОТРАЖЕНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РИФТОГЕННЫХ БАССЕЙНОВ И ОБОСНОВАНИЕ ПРОГНОЗА ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ (ЗАПАДНАЯ СИБИРЬ)**

© 2013 г. А.Д. Коробов, Л.А. Коробова, А.Т. Колотухин, В.М. Мухин, Л.В. Елисеева  
Саратовский госуниверситет

*Установлена четкая корреляция между тектонической напряженностью и гидротермальным минерагенезом в породах рифтогенного осадочного бассейна. В частности, показано, что область развития аутигенных лейкоксена и анатаза соответствует зонам с минимальной тектонической напряженностью. Эти зоны характеризуются тем, что гидротермальный процесс в них контролировался трещинами растяжения, переживавшими малоамплитудные колебания, исключая стресс. Колебание таких трещин сопровождалось многократной разгерметизацией пластовой гидротермальной системы, что говорит о плохих экранирующих свойствах перекрывающих толщ и малой вероятности возникновения промышленных залежей углеводородов.*

*Полученные на территории Западной Сибири оригинальные материалы могут быть полезны для геологов, работающих в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции.*

#### *Введение*

Вся современная теория нефтегазообразования и все установленные закономерности накопления 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 проги-

бания; 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 нефтегазообразова-

ния 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, которая определяется установившимся тепловым (кондуктивным) полем. В условиях активного тектогенеза, который переживают 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 восьмидесятых годов прошлого столетия флюиодинамический этап, призванный устранить вышеотмеченные противоречия, успешно развивается в настоящее время. Его особенность заключается в признании геологами эволюционно-динамических факторов генерации УВ и установлении генетических связей между динамикой трех процессов: а) мощного осадконакопления, б) интенсивного прогрева, протекающего в условиях как растяжения, 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 создает общий тепловой фон и контролирует регио-

нальный фоновый эпигенез погружения (стадиально-эпигенетические преобразования), то конвективные процессы определяют наложенный эпигенез. При этом надо четко понимать, что процессы наложенного эпигенеза не являются продолжением стадиального. Они могут проявляться на любом этапе осадочного цикла с началом тектонической активизации. Наложный 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), является серьезным ускорителем генерации УВ. В периоды тектонической активизации происходит подъем вверх высокотемпературной газовой 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 счет утраты глинистыми отложениями экранирующих свойств. Доказано [8], что в условиях высоких температур и минерализации циркулирующих вод на порядок и более увеличивается проницаемость смектиновых глин. В меньшей степени это касается глин каолиновых. Следовательно, в седиментационных бассейнах в периоды тектонической активизации резко возрастала

конвективная составляющая вертикального движения подземных вод (гидротерм). Свидетельствами конвективного прогрева рифтогенных бассейнов могут служить широкое развитие гидротермальных процессов с появлением метасоматической зональности и сопряженной с ней фазовой зональностью УВ, а также обогащенность залежей нефти и газа металлами и глубинными газами. Такой взгляд на проблему чрезвычайно важен для молодой Западно-Сибирской плиты (рифтогенного седиментационного бассейна), поскольку установлена (Хаин, Соколов, 1991) 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 [5], А.А. Розин [26], И.А. Иванов с соавторами [12], В.А. Баженов с коллегами [2], З.Я. Сердюк с соавторами [30], В.И. Дюнин [11], А.Д. Коробов с коллегами [16] 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 минерагенез в контрастных обстановках: в трещинах преимущественного растяжения и вмещающих их породах Обь-Иртышского междуречья и зонах разноинтенсивного пульсирующего стресса Краснотенинского свода. Это даст возможность выделить минералы-индикаторы различных геодинамических обстановок и на их основании решать обратную задачу – проводить районирование территории по степени тектонической напряжен-

ности. 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  $\text{CO}_2$ , 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), вовлеченные 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 [27].

При литологических исследованиях отложений юрского и мелового возраста Обь-Иртышского междуречья (на Межовской, Веселовской и Чебачьей площадях) было установлено [27, 28], что, несмотря на одинаковый характер наложенного вдоль разломов гидротермального изменения осадочных толщ, только алевролитово-песчаные породы валанжинского и готерив-барремского ярусов содержат в своем составе аутигенные выделения титанистых минералов. Последние связаны своим происхождением главным образом с процессами разложения и метасоматического замещения терригенного материала. Новообразованные минера-

лы  $TiO_2$  являются маркерами аномально измененных пород неокома [27].

Рассмотрим особенности процессов наложенного преобразования сначала в меловых, а затем в юрских отложениях и попытаемся объяснить избирательность накопления  $TiO_2$  в трещинах растяжения [29] 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 среднее содержание полевых шпатов 50 % и более, значительно меньше кварца (30-35 %), 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 % [27, 28].

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 зерен 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 счет изменений ти-

тансодержащих минералов из обломочных пород [31, 27, 28, 21]. В других случаях очевидна генетическая связь титанистых новообразований с органическим веществом [4, 25, 13].

Как уже говорилось, в песчаниках и алевролитово-песчаных породах валанжинского и готерив-барремского ярусов, испытавших гидротермальную каолинизацию, которая в дальнейшем сменяется кальцитизацией, отмечается появление вторичных титансодержащих минералов – лейкоксена и анатаза.

Аутигенный лейкоксен представлен неправильными бесформенными зернами 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 зернам полевых шпатов, слюд, сфена. При изменении сфена наряду с лейкоксеном и анатазом возникают мельчайшие кристаллики кварца, а также микрокварцит и кальцит.

Каолинит формируется по зернам 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 ин-

тенсивен, что все неустойчивые минералы терригенного комплекса преобразованы в каолинит. От зерен полевых шпатов сохраняются лишь контуры, выраженные тонкой пленкой хлорита с едва заметным крустификационным строением. Эти контуры четко 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 зерна 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 решетки, что подтверждено рентгеноструктурными исследованиями [27, 28, 30].

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 [30]. Во-вторых, кварц и фрагменты микрокварцита сохраняют морфологию обломочных зерен терригенных пород, т.е. не испытывают катаклаза, регенерации, растворения или перекристаллизации.

Иногда на участках, где сочетаются два одновременных 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 четко 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 преобразуется в кальцит [28].

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 породах (образующих базальные и поровые цементы) и трещинах растяжения терригенных пород [30]. 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 зерен. При этом возникают породы, названные А.В. Копелиовичем [15] вторичными известняками.

Интересны взаимоотношения аутигенных титановых минералов с сидеритом. Наши наблюдения и анализ опубликованных источников [30] показывают, что в юрских континентальных отложениях восточной части Обь-Иртышского междуречья, где в отдельных фациях много сгустков сидерита и где сидерит обильно сопровождает углистые остатки, в измененных разностях пород новообразованных минералов титана нет.

Из литературных данных [31, 27, 28, 21] 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 неокомского возраста, не подвергавшиеся 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 % [28]. 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 в этом случае должна была способствовать его аккумуляции. В зависимости от физико-химических условий и, прежде всего, от кислотности-щелочности среды, которая контролировалась тектонической ситуацией [17], 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 [20], 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 концентраций  $H^+$  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 могла 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 вскипанию горячих растворов, потери углекислоты и ощелачиванию вод. Это вызывало карбонатный метасоматоз (кальцитонакопление), который приходил на смену каолинизации (аргиллизации) с выпадением титана в виде вторичных минералов. Последние сосредотачивались в интерстициях между каолинизированными и (или) кальцитизированными кристаллокластами, а также в порах аналогичным образом измененного гидрослюдистого, хлоритового цемента в виде бесформенных зе-

рен лейкоксена и хорошо раскристаллизованного анатаза. Процесс связан с резким увеличением (в два-три раза, по сравнению с неизменными песчаниками) содержания вторичных титанистых минералов. За счет этого заметно возрастает выход тяжелой фракции из пород [27].

Предложенный механизм аккумуляции элемента находится в полном соответствии с данными Б.Б. Полынова [24], который установил, что среда для выпадения окисно-титановых минералов является слабощелочной ( $\text{pH} > 7$ ).

Быстрому переходу от кислых условий к щелочным в таких случаях, видимо, способствовало высокое содержание  $\text{CO}_2$  в проницаемых пластах в период тектоно-гидротермальной активизации. Косвенным свидетельством этого являются современные аномальные концентрации глубинной углекислоты в пределах рассматриваемой территории [26, 27, 29].

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

Исходя из вышеизложенного, можно считать, 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 [22] в триас-юрских отложениях Анохинской, Севастопольской, Каршиликской 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 [16]. Эти температуры, соответствующие периоду тектоно-гидротермальной активизации, заметно отличаются от современных пластовых (90-100 °С), которые были установлены А.А. Розиным и З.Я. Сердюк [27] 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 [14].

*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 чем причины различного поведения  $\text{TiO}_2$  в меловых и юрских толщах, преобразованных горячими растворами вдоль пересекающих 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 [27, 28] 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 континен-

тальной толщии 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 [16]. 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 [30]. 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 [27, 28].

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  $\text{CO}_2$  появление кальцита, идущего на смену каолиниту, играет определяющую роль в аккумуляции вторичных титанистых минералов (лейкоксона, анатаза), то парагенезис сидерита с каолинитом такого результата не дает. В чем же тут дело?

Любопытны в этом отношении наблюдения Н.В. Ренгартен [25], которые показывают, что разложение в каменноугольных песчаниках Карагандинского бассейна обуглившихся растительных остатков с образованием сидерита или замещение углесто-глинистых осадков каолинитом с примесью сидерита, как правило, не сопровождается возникновением титансодержащих минералов. По мнению этого исследователя, в кислых восстановительных условиях, где господствует аутигенная каолинит-сидеритовая ассоциация, при повышенном дав-

лении  $\text{CO}_2$  титан выделяется из содержащих его минералов и органической массы. В такой обстановке он способен только к миграции и покидает с растворами 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 вызывали сидеритизацию и каолинизацию (иногда обеление) пород в процессе, получившем название "оглеение" или "глеевый эпигенез" [23]. На территории Обь-Иртышского междуречья встречаются континентальные юрские отложения, представленные фациями поймы, крупных озер, застойных водоемов 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 [30], т.е. оглеенные отложения. Оглеению также способствуют крупные скопления ("залежи") глубинного  $\text{CO}_2$ , обнаруженные в рассматриваемых толщах А.А. Розиным и З.Я. Сердюк [27].

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 кислотно-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 в них на отдельных участках большого количества обуглившихся растительных остатков, продуцирующих органические (гуминовые, фульвиевые и пр.) кислоты. Кроме того, относительно слабая проницаемость пород (наличие верхнеюрского глинистого экрана), препятствовала разгерметизации пластовой системы, потери  $CO_2$  и ощелачиванию нагретых вод. Следовательно, при тектоногидротермальной активизации физико-химическая обстановка минерагенеза 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 находится в соответствии с исследованиями Н.В. Белова [3], 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 [9] и А.А. Годовиков [6] в этой связи утверждают, что анатаз является наиболее устойчивой при относительно невысоких температурах и давлениях модификацией кристаллической  $TiO_2$ .

Наблюдения Н.В. Ренгартен [25], Н.Э. Гернгарта [6], Б.Ф. Горбачёва с коллегами [9] и Э.Г. Сочневой [32] говорят о том, что анатаз часто возникает при раскристаллизации лейкоксена. Правильная форма аутигенных зерен 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) [17]. 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 [17], часто повторяющимся пульсирующим характером бокового давления.

Из этого следует важный вывод о том, что гидротермальный процесс на Межовской, Веселовской и Чебачьей площадях, приуроченный к трещинам 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 испытывали в процессе наложенного изменения растворения, регенерации, перекристаллизации или катаклаза. Однако имеются примеры, когда изменившийся комплекс вторичных титансодержащих минералов влечет за собой изменение набора генетически сопряженных с ними слоистых и других силикатов.

Так, А.Е. Лукиным и О.М. Гариповым [21] на ряде нефтегазовых месторождений установлена четкая 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 [17] описанный А.Е. Лукиным и О.М. Гариповым процесс интенсивной лейкоксенизации сфена, ильменита и других минералов Ti должен был протекать в тектонически напряженных 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 напряженности, зону представляет собой район Красноленинского свода. Остановимся подробнее на его рассмотрении.

### *Красноленинский свод*

В районе Красноленинского свода, где расположено Талинское месторождение, сосредоточены пласты ЮК<sub>10-11</sub> 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-емкостные свойства и становятся высококачественными коллекторами в результате глубокого гидротермального преобразования – кислотного выщелачивания. Максимально переработанные терригенные (обычно разнозернистые и грубообломочные) породы представляют собой вторичные кварциты, среди которых различаются кварц – (диккит-каолининовая и каолинит-диккитовая фации) [18]. 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 удаленностью от разрывных нарушений.

Исходя из работ И.С. Грамберга с коллегами [10] и В.Г. Криночкина с соавторами [19], район Красноленинского свода в период тектоно-гидротермальной активизации представлял собой крупную геодинамическую аномалию Западно-Сибирской плиты. В истории ее развития выделены две стадии (ранняя и поздняя), сильно различающиеся по своей геодинамике [17].

Ранняя стадия активизации протекала в условиях очень высокотектонической напряженности, резкого пульсирующего режима стресса и высокой агрессивности горячих растворов. В зоне развития кварц – (диккит-каолининовой) фации в слабопро-

нищаемых алевролитах наблюдается начальная и последующие стадии замещения триклинным каолинитом и диккитом обломков изверженных пород, полевых шпатов, слюд, гидрослюд, хлорита, смешанослойных образований (Зубков, 1991), [21].

В самых проницаемых крупнозернистых песчаниках и гравелитах из приразломных зон новообразованный триклинный каолинит достаточно стремительно уступает свое место диккиту. В силу этого глинистые минералы цемента здесь практически нацело представлены диккитом (Конторович и др., 1995).

На участках интенсивного выщелачивания (зоны разломов) в возникших крупных порах и кавернах продолжает доминировать диккит. Причем 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 (Белкин, Бачурин, 1990). 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 характерной 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 (Казанский и др., 1993).

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 эффу-

зивов. Причем этот процесс сопровождался практически полным выносом продуктов разложения за пределы зоны, чему способствовал режим интенсивного пульсирующего стресса [17]. Все это приводило 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 натечными формами кремнезема (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 зерен менее 0,01 мм и слагающий глинистую фракцию. Количество такого кварца составляет до половины общего содержания этой фракции в породе (Абдуллин, 1991; Белкин, Бачурин, 1990; Зубков и др., 1991).

Поздняя стадия тектоно-гидротермальной активизации развивалась в обстановке угасающей тектонической напряженности, слабеющего 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 клас-тогенных кварцевых зерен. Для преобразованных пород характерно невысокое (1-2 %) абсолютное содержание каолинита и диккита. Причем количественное соотношение этих минералов в эпигенетическом цементе становится приблизительно одинаковым (Зубков и др., 1991). На это обстоятельство необходимо обратить особое внимание, по-

скольку в период активного выщелачивания доминирующим минералом слоистых силикатов был высокодисперсный диккит.

Важно подчеркнуть, что в межзерновом пространстве гидротермально измененных пород развиты крупнокристаллические (30-40 мк) идиоморфные разности каолинита и диккита, попадающие при отмучивании в алевритовую фракцию. Причем совершенной морфологии в таких случаях соответствует и совершенная кристаллическая структура минерала (Зубков и др., 1991).

В позднюю стадию тектоно-гидротермальной активизации в обстановке заметно ослабевшего пульсирующего стресса в зоне образования (каолинит-диккит)-кварцевой фации наблюдается 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 каемкам, нарощенным на исходные разноокатанные и выщелоченные обломки этого минерала. Регенерационные каемки 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 [21]. На заключительных этапах регенерации отмечается захват битумов растущей кристаллической фазой (Казанский и др., 1993). Поэтому поздний аутигенный кварц нередко содержит многочисленные включения пузырьков темноокрашенной жидкости – нефти.

За счет регенерационных каемок происходит значительное (в 2-3 раза) увеличение размеров исходных зерен кварца, достигающих при этом 0,8-0,9 мм (Зубков и др., 1991). Укрупнение кристаллов приводит к формированию гранобластовой структуры. Кроме

того, регенерационные каемки не просто залечивают изъяны и структуры растворения на поверхности кварцевых зерен, а восстанавливают их правильную огранку (габитус).

Окварцевание, проявившееся в порах и кавернах выщелачивания, выразилось в образовании микродроз прекрасно огранных водяно-прозрачных кристаллов кварца, достигающих, в зависимости от величины пустот, размера 0,5-1,0 мм. Любопытно отметить, что регенерационный кварц и вырастающий в кавернах микродрозовый кварц отличаются не только идиоморфизмом, но имеют и более совершенную по сравнению с обломочным кварцем кристаллическую структуру, что подтверждается рентгеноструктурными исследованиями (Зубков и др., 1991).

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 мД до 4,5 Д при пористости от 16 до 23 % (Белкин, Бачурин, 1990). Это обусловило сверхпроводимость пород, которые рассматриваются Р.А. Абдулиным (1991) 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 ЮК<sub>10-11</sub> происходило в позднюю тектоно-гидротермальную стадию, чему способствовал ослабевший стресс, который в таком состоянии выступал в роли природного насоса, эвакуирующего нефтиды из нефтегазоматеринских пород в ловушки.

Важно подчеркнуть, что крупная геодинамическая аномалия Красноленинского свода могла успешно осуществлять функцию природного насоса благодаря надежному флюидоупору. Известно, что характерной особенностью Красноленинского свода является исключительно глинистый состав фроловской свиты ( $K_1$  неоком), мощность которой составляет 527-625 м. Аналогичное геологическое строение имеет и примыкающая с востока территория, где расположена Фроловская нефтегазоносная область. Обе эти площади объединены в единую максимально закрытую геофлюидную систему, получившую название "фроловский барьер" [1, 11]. 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 чем 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 [17]. 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.

1. Наблюдается четкая корреляция между тектонической напряженностью и гидротермальным минерагенезом в породах рифтогенного осадочного бассейна.

2. Присутствие высокодисперсных кристаллов каолинита, диккита, адуляра, кварца, а также натечных форм опала в почти монокварцевых породах с крупными кавернами выщелачивания характеризует развитие гидротермального процесса в условиях очень высокой тектонической напряженности, режима резкого пульсирующего стресса и высокой агрессивности кислых горячих растворов. Процесс, вызывавший ультракислотное выщелачивание, протекал в обстановке периодической разгерметизации пластовой системы и характеризовал активное состояние крупной геодинамической аномалии.

3. Присутствие микродрузового кварца, а также кварца с широкими регенерационными каемками 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 напряженности 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.

4. Область развития аутигенных лейкоксена и анатаза (в ассоциации с триклинным структурно совершенным каолинитом и кальцитом), которые заметно увеличивают выход тяжелой фракции из измененных терригенных пород, соответствует зонам с минимальной тектонической напряженностью. Эти зоны характеризуются тем, что гидротермальный процесс в них контролировался трещинами растяжения, переживавшими малоамплитудные колебания, исключая стресс. Колебания таких трещин сопровождалась многократной раз-

## ГЕОЛОГИЯ

герметизацией пластовой гидротермальной системы, что говорит о плохих экраняющих свойствах перекрывающих толщ и малой вероятности возникновения промышленных залежей УВ.

5. Антагонизм между аутигенными минералами  $TiO_2$  и сидеритом обусловлен различными кислотно-щелочными усло-

виями, необходимыми для их образования.

6. 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.

## Л и т е р а т у р а

1. Абдрашитова Р.Н. Палеогидрогеологические аспекты нефтегазоносности Красноленинского свода Западно-Сибирского мегабассейна // Современная гидрогеология нефти и газа (фундаментальные и прикладные вопросы). – М.: ГЕОС, 2010. – С.118-123.

2. 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.

3. Белов Н.В. Очерки по структурной минералогии. Рутит-анатаз-брукит-ильменит-гематит-колумбит // Минерал. сборник Львовского геолог. об-ва. – 1954. – №8. – С.13-40.

4. Вернадский В.И. Заметка о титане в биосфере // Труды Биохимической лаборат. АН СССР. – 1937. – Вып.4. – С.39-49.

5. Гаврилов В.П. Геодинамическая модель нефтегазообразования в литосфере и ее следствия // Геология нефти и газа. – 1998. – № 6. – С.2-12.

6. Гернгардт Н.Э. Лейкоксен в песчаниках-коллекторах нефтяных месторождений Южного Тимана // Известия вузов. Геология и разведка. – 1962. – № 6. – С.50-55.

7. Годовиков А.А. Минералогия. – М.: Наука, 1975. – 356 с.

8. Гольдберг В.М., Скворцов Н.П. Влияние температуры и минерализации подземных вод на проницаемость глинистых водоупоров // Гидрогеология. Инженерная геология и строительные материалы: международ. Геол. конгресс. 24 сессия. – М.: Наука, 1980. – С.73-77.

9. Горбачёв Б.Ф., Власов В.В., Ситдииков Б.С. Об особенностях формирования аутигенного анатаза в зоне катагенеза // Литология и полезные ископаемые. – 1964. – № 5. – С.105-108.

10. Опыт исследования напряженно-деформированного состояния Красноленинского свода (Западная Сибирь) / И.С. Грамберг, И.Н. Горяинов, А.С. Смекалов и др. // Докл. АН России. – 1995. – Т.345. – № 2. – С.227-230.

11. Дюнин В.И. Гидрогеодинамика глубинных горизонтов нефтегазоносных бассейнов. – М.: Научный мир, 2000. – 472 с.

12. Геологическое строение месторождений нефти и газа верхней части палеозойских образований юго-востока Нюрольской впадины по данным комплексных минералогических и геолого-геофизических исследований / И.А. Иванов, С.В. Негоденко, А.Е. Ковешников и др. // Геологическое строение и нефтегазоносность юго-востока Западной Сибири. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1989. – С.40-49.

13. Казенкина Г.А. Аутигенные минералы титана в угленосных отложениях Западного Забайкалья (Тугнуйская депрессия) // Известия Сиб. Отделен. АН СССР. – 1958. – № 4. – С.45-50.

14. Колокольцев В.Г., Лисицына М.А. О гидротермально-метасоматическом генезисе лейкоксеновых руд Ярегского месторождения (Южный Тиман) // Вулканоогенно-осадочное рудообразование. – СПб: ВСЕГЕИ, 1992. – С.89-91.

15. Копелиович А.В. Эпигенез пород древних толщ юго-запада Русской платформы //Труды ГИН АН СССР. – 1965. – Вып.121. – 312 с.
16. 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.
17. 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, разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 6. – С.4-12.
18. 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.
19. Криночкин В.Г., Балдина Н.А., Фёдоров Ю.Н. Особенности проявления тектонических нарушений в литологическом разрезе чехла Красноленинского свода (Западная Сибирь) //Актуальные вопросы литологии: материалы 8-го Уральск. литолог. совещ. -Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. – С.168-169.
20. Влияние эпигенетических процессов на параметры коллекторов и покрышек в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности /Б.А. Лебедев, Г.В. Аристова, Е.Г. Бро и др. //Труды ВНИГРИ. – Л.: Недра, 1976. – Вып.361. – 132 с.
21. Лукин А.Е., Гарипов О.М. Литогенез и нефтеносность юрских терригенных отложений Среднеширотного Приобья //Литология и полезные ископаемые. – 1994. – № 5. – С.65-85.
22. Лукьянова В.Т. Катагенез в орогенных областях. – М.: Товарищество научных изданий КМК ЛТД, 1995. – 168 с.
23. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). – М.: Недра, 1968. – 332 с.
24. Польшов Б.Б. Кора выветривания. – Л.: изд-во АН СССР, 1934. – 240 с.
25. Ренгартен Н.В. Минералы титана в угленосных осадочных породах //Труды ГИН АН СССР. – 1956. – Вып.5. – С.125-132.
26. Розин А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. – Новосибирск: Наука, 1977. – 102 с.
27. 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.
28. Розин А.А., Сердюк З.Я. К вопросу изучения разрывных нарушений в осадочном чехле Западно-Сибирской плиты по минералого-петрографическим и гидрохимическим аномалиям //Труды СНИИГГиМСа. – 1971. – Вып.132. – С.84-89.
29. Сердюк З.Я., Эренбург Б.Г. О составе вторичных карбонатов, развитых в трещинах и порах пород фундамента и осадочного чехла Обь-Иртышского междуречья //Труды СНИИГГиМСа. – 1972. – Вып.149. – С.87-91.
30. Об особенностях преобразования континентальных отложений юры Западной Сибири под воздействием глубинных факторов /З.Я. Сердюк, С.М. Яшина, Н.П. Запивалов, В.Я. Шерихора //Континентальный литогенез. – Новосибирск: изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1976. – С.123-134.
31. Сердюченко Д.П., Добротворская Л.В. О некоторых минеральных новообразованиях в осадочных породах //Докл. АН СССР. – 1949. – Т.69. – № 3. – С.119-122.
32. Сочнева Э.Г. Лейкоксен из продуктивных горизонтов одного месторождения Европейской части СССР //Известия вузов. Геология и разведка. – 1970. – № 7. – С.41-47.