

Стадиальный анализ минеральных свидетелей динамики процессов формирования и эволюции вещества осадочных пород – перспективное научное направление литологии и нефтегазовой геологии

О.В. Япаскурт

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
Поступила в редакцию 12.01.2016

Рассмотрены принципы методологии и методы развиваемого автором научного направления – динамическая литология. Это познание динамики историко-геологической сменяемости многостадийных процессов генезиса и эпигенезиса осадочных горных пород с оценками степени влияния на эти процессы тектоногенеза в различных геоструктурных областях литосферы. Описана схема систематизации процессов литогенеза и способы их диагностики путем оптических и электронно-микроскопических наблюдений конкретных вещественных и структурных последствий многоэтапной литификации осадка (стадиальный анализ литогенеза). Практический вклад таких исследований – их использование в развитии теорий стратиформного рудогенеза и нафтидогенеза.

Ключевые слова: стадиальный анализ, седиментогенез, литогенез, аутигенный минералогенез, процесс, флюид, динамика, стратисфера, система

DOI: 10.18599/grs.18.1.12

Введение. Современные исследования в литологии базируются на трех основополагающих методологических принципах: *генетичность, историзм, системность*. На их основе литолог, который изучает древние (дочетвертичного возраста) осадочные толщи, имеет возможность реконструировать и научно аргументировать динамику сменяемости многостадийных и многограновых процессов пороодообразования, а также оценивать вероятность прямых и косвенных взаимосвязей их с тектоногенезом, рудогенезом или нафтидогенезом. Сегодня в литологии отчетливо обособились два фундаментальных направления: учение о седиментогенезе и учение о постседиментационно-предметаморфическом литогенезе и его стадиях – диагенезе, катагенезе (региональном эпигенезе) и метагенезе. Оба направления по своей сути неразрывно взаимосвязаны единством осадочного процесса *sensu lato*, однако до сих пор наши знания об общепланетарных закономерностях седиментации на много порядков опередили информацию о постседиментационном литогенезе. Причина: недоступность литогенетических процессов нашим прямым наблюдениям вследствие их глубинности и продолжительности, несравнимой с длительностью человеческой жизни. Мы добываем информацию о таких процессах лишь косвенно – по микроструктурным признакам стадийности разрушения и возрождения или сменяемости минеральных компонентов внутри пласта осадочной породы. Это метод *стадиального анализа литогенеза* (СА), принцип которого был сформулирован Н.А. Страховым ещё в 1957 г.: «стадиальный анализ состоит в распознавании в породе признаков, возникших в эпигенезе (или раннем метаморфизме), диагенезе и седиментогенезе» (Методы изучения осадочных пород, 1957, с. 27). То есть, исследователь путем наблюдения шлифа породы в поляризационном микроскопе (а ныне – и в растровом электронном микроскопе) разделяет минеральные ассоциации в ретроспективной последовательности их возникновения – от новейших к исходным.

В англоязычной литературе термин СА не принят,

однако соответствующие исследования ведутся там довольно интенсивно, начиная с трудов Ф.Дж. Петтиджона (1975 г.), Р.К. Селли (1976 г.), Р. Фейербриджа (1967 г.) и др.

В Советском Союзе существенный импульс к развитию СА дали многочисленные работы А.Г. Коссовской и В.Д. Шутова (1955 и др.), А.В. Копелиовича (1965 г.), Н.В. Логвиненко (1968 г.), В.И. Муравьева (1968 г.), И.М. Симановича (1964, 1978), В.И. Копорулина и др. (Методы изучения осадочных пород, 1957). Однако на рубеже веков число публикаций на эту тему в отечественных журналах стало сокращаться. Этот плацдарм старается держать автор – ученик Г.Ф. Крашенинникова и А.Г. Коссовской (Япаскурт, 1976, 1986, 1992, 1999, 2013 а, б). Сегодня СА выводится на качественно новый уровень: помимо присутствующей ему историчности и генетичности, внедряется системность – синтез фактических данных от разных уровней организации вещества, начиная от минерально-компонентного, переходя к породно-слоевому, а затем – фациальному и формационному уровням.

Информативность стадиального анализа. Исследованиями вещества на микро- и наноуровнях СА удается диагностировать: 1 – аутигенный минералогенез и его этапность, 2 – корродирование седиментогенных (терригенных, эдафогенных, вулканогенных, биогенных) породных компонентов, 3 – трансформации их кристаллических решеток, 4 – рекристаллизационный бластез, 5 – следы миграции флюидной фазы в породе, 6 – признаки метасоматоза (Япаскурт, 2013 а, б).

Аутигенные минеральные новообразования отличны от аллотигенных своей идиоморфно-конформной кристаллическостью либо колломорфно-изотропной наноструктурой. При одновременности возникновения аутигенных минералов их возрастная последовательность выявляется путем анализа формы контактов между ними (Япаскурт, 1999).

Коррозионные микро- и наноструктуры аллотигенных компонентов четко фиксируются оптической и растровой электронной микроскопией (РЭМ). Анализ их сочетания с аутигенными наростами (Рис. 1, 2) позволяет судить об

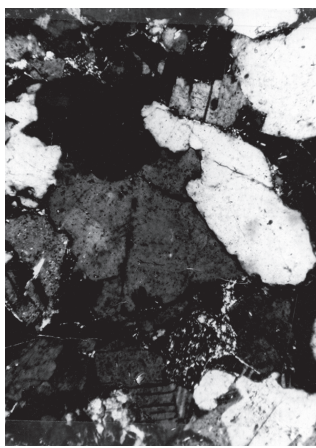


Рис. 1. Инкорпорационные структуры гравитационной коррозии на контактах терригенных зерен кварца в песчанике. Фото шлифа при скрещ. николях поляризац. микроскопа. К_р, Приверхоанский прогиб.

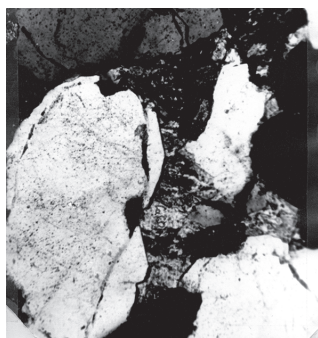


Рис. 2. Кайма регенерационного кварца вокруг кварцевого песчаного зерна (белые слева); между ними – прерывистая плёночка аутигенного хлорита (темно-серый). Фото шлифа при скрещ. николях. Р₂ верхоянского комплекса.

источнике вещества для аутигенеза, которое в одних случаях бывает местным (за счет корродирования внутрипородных седиментогенных минералов), а в иных – привнесенным подземными водами из иных слоев либо из иных формаций. Такой анализ очень ценен для понимания причин различной проницаемости пород, обусловленной сообщаемостью пор в породе либо их запечатыванием карбонатным, кремневым и другими веществами.

Трансформации (термин введен в 1964 г. французским исследователем Ж. Милло) – это процесс замещения исходного (седиментогенного) минерала иным, без фазовых переходов, посредством обмена части собственных катионов на другие, поступившие в кристаллическую решетку минерала из водной среды. При этом архитектура кристаллической решетки сохраняется прежней, но формульный состав и физико-механические свойства трансформированного компонента принципиально меняются. Примеры: трансформации седиментогенных смектитов в начале стадии глубинного катагенеза (при $T = 100^{\circ}\pm 20^{\circ}\text{C}$) в иллиты и (или) хлориты при превращении глины в неразмочаемый аргиллит; трансформации терригенного биотита песчаника в хлорит-иллитовые пакеты при глубинном катагенезе и др. Эти явления трудно выявить без привлечения РЭМ или электронографии. Прекрасные описания и иллюстрации минеральных трансформаций приведены в монографиях конца прошлого века В.А. Дрица и А.Г. Коссовской и со ссылками на их работы в публикациях автора (Япаскурт, 2008).

Кристаллобластез кварца и других минералов (Рис. 3), ухудшающий коллекторские свойства (песчаники утрачивают проницаемость), подробно охарактеризован в трудах И.М. Симановича (1978) и автора (Япаскурт, 1999). Признаки этого процесса свидетельствуют о термальной активизации стадии метагенеза (апокатагенез, анхиметаморфизм).

Швы флюидоразрыва (Рис. 4) – признак оттока вещества вместе с внутрипластовыми флюидами, преодолевшими нагрузку литостатического давления. Источником таких флюидов были трансформации собственных глинистых и органических веществ. Эти признаки мало-

метны и зачастую игнорируются при петрографическом описании шлифов. Для диагностики состава флюидов требуется анализ с помощью РЭМ наноконцентрация вещества, заполняющего швы.

Признаки метасоматоза нуждаются в особо тщательной аргументации. Зачастую исследователи постулируют «метасоматоз» на основе выявления регенерационных наростов аутигенного кварца на кварце терригенном или обнаружения хорошо окристаллизованных карбонатных минералов в поровом пространстве песчаников. Однако в случаях, когда эти минералы кристаллизовались в открытых, заполненных водным флюидом пустотах, мы имеем дело с обычным аутигенезом. Классическое определение метасоматоза Д.С. Коржинским – это растворение ранее существовавшего минерала горной породы, сопровождаемое кристаллизацией нового минерала взамен прежнего. Следовательно, метасоматическую природу конкретного минерального компонента можно уверенно определить только тогда, когда в нем будут обнаружены остаточные реликты прежнего минерального компонента. Недорастворенные наночастицы прежнего минерала можно обнаружить только с помощью РЭМ и др. прецизионной аппаратуры.

Все описанные выше постседиментационные процессы существенно корректируют (улучшают либо ухудшают) коллекторские свойства, возникшие в осадочных отложениях на стадиях седиментогенеза и раннего диагенеза. Все эти изменения фиксируются посредством СА. При этом опытный исследователь может описать историю многоэтапных вещественных и структурных изменений осадка, а также возникшей из него горной породы для всего времени её бытия в земных недрах, вплоть до момента ее извлечения из скважины или из естественного обнажения. Значимость такого направления исследований для объяснения коллекторских либо флюидоупорных свойств осадочных пород совершенно очевидна (Япаскурт и др., 1997).

Надпородные уровни СА сводятся к графическим изображениям степени интенсивности внутрислоевых вещественных преобразований на литолого-фациальных и палеотектонических профилях исследуемой геологической формации.

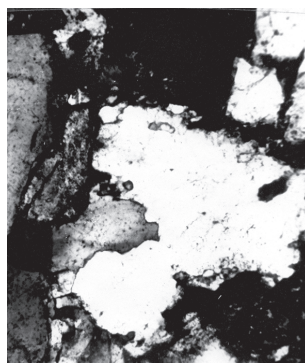


Рис. 3. Микроструктуры рекристаллизационно-грануляционного бластеза на периферии песчаного кварцевого зерна, вблизи его конформных границ с соседними зернами. Фото шлифа при скрещ. николях. Р₁ верхоянского комплекса.

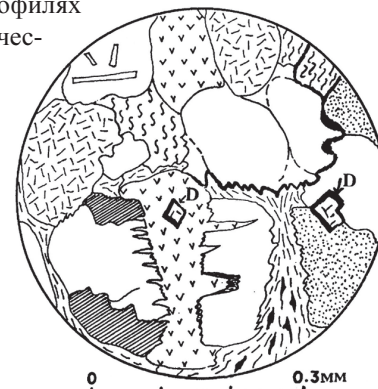


Рис. 4. Шов флюидоразрыва (черный, извилистый) в сочетании с конформно-инкорпорационными структурами гравитационной коррозии кварцевых обломочных зерен (белые) и литокласт (обозначены крапом) и с более поздними включениями ромбических кристаллов доломита (D) метасоматической природы. Зарисовка шлифа песчаника Т₃ Тюменской скважины СГ-6, на глуб. 5.5 км.

Полученные таким способом данные используются для теоретических заключений относительно способов и особенностей влияния на литогенез различных экзо- и эндогенных факторов, подчиняющихся определенному тектоническому режиму формирования осадочно-породного бассейна. Таким путем конкретизируются признаки зависимости минерально-структурного изменения осадков и возникших из них пород от темпа и палеоглубины их тектонического погружения (обеспечившего последовательное вхождение породы в сферы увеличивающихся температур и литостатических давлений); степени влияния стресса на литификацию вблизи конкретных дизъюнктивных тектонических нарушений структуры бассейна; былая принадлежность породы к палеоводоносному горизонту либо водопору и проч. (Япаскерт, 1992; 2013 б и др.).

Сформулируем конкретнее **цели и возможности использования данного метода**. Традиционно СА используется для решения следующих задач.

1. Констатация этапности формирования минеральных компонентов породы.

2. Привязка вышеупомянутых этапов к определенным стадиям осадочного процесса: седиментогенез, ранний и поздний диагенез, слабый, умеренный и глубинный катагенез (региональный эпигенез), метагенез; коррелирование этих этапов с историко-геологическими событиями.

3. Оценка степени искаженности изначального вещественного состава осадка в результате его литификации.

Решение таких задач необходимо для надежных палеогеографических реконструкций. Известно множество случаев полной замены седиментогенных минералов новообразованными при катагенезе или метагенезе. Например, стопроцентная доломитизация известняка, его сидеритизация, окварцевание; цементация кварцевого песчаного материала карбонатами постседиментогенного происхождения; трансформация смектитовых компонентов глины в хлорит-иллитовые вещества аргиллита и проч. Приемы стадийного анализа позволяют выявить остаточные реликты в породе её исходного вещества либо промежуточные категории между слоями слабо и нацело измененных пород (доломитизация, сульфатизация, окварцевание). Тем самым верифицируются результаты генетического литолого-фациального анализа строения осадочных толщ.

Новые задачи и возможности СА сформированы в (Япаскерт, 2013, а, б). Это, прежде всего, оценка роли флюидного фактора влияния на литогенез. Эта роль бывает двойственной: 1 – внутрипластовый водный флюид как среда, необходимая для реализации процессов аутигенного минералогенеза за счет перераспределения и трансформаций местного вещества из исходного осадка; 2 – флюид как переносчик сторонних веществ для аутигенеза. Оба способа флюидного влияния на литификацию находят отражение в определенных признаках аутигенных минералов и в их одинаковости либо различиях с минералами аллотигенных породных компонентов.

Отсюда следует принципиально важный вывод: *при стадийном анализе диагенеза, катагенеза и метагенеза следует диагностировать две генетически разные группы аутигенных минералов – одну, возникающую из местных, другую – из чужеродных вещественных источников*. Такое предложение делалось давно (Холодов, 1970). Его автор сформулировал соответствующие термины:

первую группу из вышеупомянутых аутигенных минералов он именовал *автогенетическими*, вторую – *аутигенными аллогенетическими*. Эти наименования не стали общепризнанными и, по сути, не были замечены. Мы считаем целесообразным их реанимировать, заменив на более лингвистически удобные: *аутигенные собственные* (A_1) и *аутигенные чужеродные, или наложенные* (A_2).

Главные отличительные признаки A_2 : 1) аутигенный минерал не имеет своих аналогов среди аллотигенных компонентов его породы (как, например, кальцит в кварцевом и кварцево-полевошпатовом песчанике); 2) площадь минеральных новообразований в сечении шлифа значительно превышает суммарные размеры площадей сечения его потенциальных доноров и размеры их коррозионных полостей; 3) один и тот же по составу аутигенный минерал образует в породе две или более генерации (в этих случаях для повторных генераций донорские резервы первичных веществ, вероятнее всего, исчерпываются). К сказанному надо добавить, что в некоторых случаях один и тот же разновозрастный минерал на разных этапах геологического времени мог принадлежать поочередно к разным генерациям – то к A_1 , то к A_2 .

Диагностика вышеупомянутых двух категорий аутигенеза позволяет прояснить проблему, неодинаково решаемую геологами разных школ: осуществлялся ли привнос вещества руд и углеводородов из эндосфер, или сама формация генерировала флюид под влиянием определенных термобарических факторов. Для решения такой проблемы целесообразно сочетать СА с исследованием изотопии кислорода, углерода и др. элементов в составе аутигенных компонентов породы.

Другая неисчерпанная возможность СА – это учет его данных при корреляции динамики литогенеза с этапностью эволюции геодинамических процессов в стратисфере.

Нами стратисфера рассматривается как самоорганизующаяся и динамично развивающаяся органогенно-минерально-породно-водно-флюидная система, которая сама в определенных обстоятельствах активно влияет на постседиментационное породообразование и, в том числе, на рудогенез. Она постоянно стремится достичь состояния физико-химической равновесности с периодически обновляемой средой своего местопребывания, при этом постоянно подпитывается энергией и веществом как сверху, так и снизу, и она же отдает свою энергию процессам фазовой дифференциации своих собственных веществ на многих системных микро- и макроуровнях.

Именно в противоречии «система – обновляемая среда» заложена суть движущих сил для большинства механизмов постседиментационных породных изменений, включая стратиформный рудогенез и нефтидогенез. Вместе с тем, эта система сама по себе *внутренне противоречива*. Она формируется как изначально неравновесные образования ещё на стадиях седиментогенеза. Поэтому уже в самой её внутрисистемной структуре заложена возможность для функционирования многих минерально-флюидных химических взаимодействий, а факторы среды стимулируют и ускоряют их (например, известное удвоение скорости химических реакций при каждом повышении температуры на 10°C). Процессы данной системы ранжируются согласно следующим уровням её организации: 1 – минерально-компонентному (коррозия, регене-

рация, трансформации кристаллических решеток минеральных частиц и др.), 2 – породно-слоевому (перераспределение веществ в растворах и диффузией), 3 – межслоевому (например, вынос H_2O , SiO_2 и различных катионов из смектитовых глин, трансформируемых в иллитовые аргиллиты, и привнос этих компонент в межзерновые полости соседних песчаных пластов); *эти процессы оставляют память о себе*, т.е. структурные следы, которые доступны диагностике методом СА. Далее следуют категории процессов более крупного масштаба: 4 – внутриформационному, 5 – межформационному (внутристратиферному) и кое-где (вероятно) 6 – ювенильному (при привносе флюидов из нижележащих геосфер).

Заключение

Развитие вышеописанного направления исследований несомненно внесет необходимый вклад в становление нового раздела науки об осадочных образованиях Земли – *динамической литологии*, изучающей динамику историко-геологического развития процессов генезиса и эпигенезиса осадочных пород в аспекте оценок влияния на них процессов тектоногенеза. Практический выход от развития данного научного направления – вклад в теории стратиформного рудогенеза и нафтидогенеза.

Литература

- Косовская А.Г., Шутов В.Д. Зоны эпигенеза в терригенном комплексе мезозойских и верхнепалеозойских отложений Западного Верхоянья. *Докл. АН СССР*. 1955. Т. 103. № 6. С. 1085-1088.
- Методы изучения осадочных пород. Т. 1. Под ред. Н.М. Страхова, Г.И. Бушинского, Л.В. Пустовалова, А.В. Хабакова, И.В. Хворовой. М: Гос. науч.-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр. 1957. 611 с.
- Симанович И.М. О постседиментационном преобразовании шокшинских кварцито-песчаников. *Литология и полезные ископаемые*. 1964. № 1. С. 93-103.
- Симанович И.М. Кварц песчаных пород. М: Недра. 1978. 152 с.
- Холодов В.Н. О терминах применяемых при изучении вторичных изменений осадочных пород. *Литология и полезные ископаемые*. 1970. № 6. С. 91-101.

Япаскурт О.В. Преобразования песчаников протерозоя Южного Улутау при переходе от эпигенетической к метаморфической стадии. *Литология и полезные ископаемые*. 1976. № 5. С. 118-125.

Япаскурт О.В. *Литология терригенных формаций миогеосинклинальных осадочно-породных бассейнов верхоянского комплекса*. Автореф. дис. д. геол.-мин. н. М: МГУ. 1986. 38 с.

Япаскурт О.В. Литогенез и полезные ископаемые миогеосинклиналей. М: Недра. 1992. 224 с.

Япаскурт О.В. Предметаморфические изменения пород в стратиферной зоне: процессы и факторы. М: ГЕОС. 1999. 260 с.

Япаскурт О.В. Генетическая минералогия и стадийный анализ процессов осадочного породо- и рудообразования. М: ЭС-ЛАН. 2008. 356 с.

Япаскурт О.В. Литология. Разделы теории. Ч. I. Процессы и факторы эпигенезиса горных пород: диагностика и системный анализ. М: МАКСПресс. 2013а. 216 с.

Япаскурт О.В. Литология. Разделы теории. Ч. II. Закономерности внутристратиферного осадочнопородного эпигенезиса. М: МАКСПресс. 2013б. 188 с.

Япаскурт О.В., Горбачев В.И., Косоруков В.Л., Золотарев Д.А. Особенности литогенеза докайнозойских дельтово-морских комплексов в бассейнах разных типов (север Сибири). Сообщ. 1. Бассейн с близкой к компенсационной седиментацией в Колтогорско-Уренгойском прогибе. *Литология и полезные ископаемые*. 1997. № 1. С. 36-47.

Для цитирования: Япаскурт О.В. Стадийный анализ минеральных свидетелей динамики процессов формирования и эволюции вещества осадочных пород – перспективное научное направление литологии и нефтегазовой геологии. *Георесурсы*. 2016. Т. 18. № 1. С. 64-68. DOI: 10.18599/grs.18.1.12

Сведения об авторе

Олег Васильевич Япаскурт – д. геол.-мин. наук, профессор, заведующий кафедрой литологии и морской геологии, академик РАЕН, Заслуженный деятель науки РФ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет Россия, 119234, Москва, ул. Ленинские горы, д. 1 Тел: +7(495)939-50-00, email: lyapaskurt@mail.ru

Stage Analysis of Minerals that Witnessed Formation and Evolution Dynamics of Sedimentary Rocks – Perspective Scientific Direction of Lithology and Geology of Oil and Gas

O.V. Yapaskurt

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Received January 12, 2016

Abstract. The paper highlights methodology and techniques of the dynamic lithology – scientific direction developed by the author. It includes knowledge of historical and geological alternation of multistage epigenesis and genesis of sedimentary rocks, with estimates of tectonogenesis influence on these processes in different geostructural areas of the lithosphere. The author describes the scheme of lithogenesis systematization and its diagnostics by optical and electron microscopic observations of specific material and structural effects of the multistage sediment lithification (stage analysis of lithogenesis). The practical contribution of such studies is in their use in the development of theories concerning stratiform ore genesis and naftidogenesis.

Keywords: stage analysis, sedimentogenesis, lithogenesis, authigenic mineral genesis, process, fluid, dynamics, stratosphere, system

References

- Kholodov V.N. Terms used in the study of secondary alteration of sedimentary rocks. *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and Mineral Resources]. 1970. № 6. Pp. 91-101. (In Russ.)
- Kosovskaya A.G., Shutov V.D. Zones of epigenesis in terrigenous Mesozoic and Paleozoic sediments of the Western Verkhoyansk. *Dokl. AN SSSR* [Proc. of the USSR Academy of Sciences]. 1955. V. 103. № 6. Pp. 1085-1088. (In Russ.)
- Metody izucheniya osadochnykh porod [Methods of study of sedimentary rocks]. V. 1. Ed. N.M. Strakhova, G.I. Bushinskogo, L.V. Pustovalova, A.V. Khabakova, I.V. Khvorovoy. Moscow: State Sci. and Techn. publ. of literature on geology and subsoil protection. 1957. 611 p.