

ВЫЯВЛЕНИЕ НАЧАЛЬНЫХ СТАДИЙ ОБВОДНЕНИЯ ПРОДУКТИВНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПО ИЗМЕНЕНИЯМ СТРУКТУРЫ ВТОРИЧНЫХ СЛЮД

Разработка путей противодействия главной причины техногенного падения фильтрации в терригенных породах, имеющей минералогическую и физико-химическую природу, требует учёта динамики преобразования структуры в системе иллит-сметтит. Известные методы анализа смешанослойных фаз на основе процедуры фитинга не являются вполне корректными для таких объектов. Предлагается альтернативный подход, основанный на анализе картин, получаемых вычитанием спектра, регистрируемого после насыщения препарата этиленгликолем, из спектра сухого объекта. На компьютере был проведен расчёт таких спектров во всём диапазоне концентраций компонент иллита и сметтита при разном типе упорядоченности структуры – факторе ближнего порядка R . Установлено, что на начальной стадии трансформации возникает фаза с одной сеткой H_2O между слоями и фактором ближнего порядка $R=3$, что интерпретируется как внедрение воды по границам блоков. В заводнённых коллекторах присутствует несколько фаз иллит-сметтит с различными вероятностными параметрами структур. Найдены критерии для выбора теоретических спектров, наиболее близких к экспериментальным.

Ключевые слова: добыча нефти, слюды, смешанослойный иллит-сметтит, дифрактометрия.

Опыт разработки крупных месторождений нефти в Татарстане и ряде других регионов выявил явления, не объясняемые в рамках традиционных концепций гидродинамики. Закачка в пласт опреснённых вод из поверхностных источников обычно приводит к снижению фильтрующей способности терригенных пород, особенно при их повышенной глинистости. В толще продуктивного девона Республики Татарстан этот процесс может приобретать катастрофические масштабы. Установлено, что при снижении плотности пластовых вод до $1,09 \text{ г/см}^3$ насыщенная нефтью порода при глинистости $> 5 \%$ иногда перестаёт участвовать в эксплуатации (Krinari et al., 2000). Аналогичные явления наблюдаются и на ряде промышленных объектов Западной Сибири. Далее установлено, что доминирует в снижении добычи не набухание цемента, а встречный электроосмотический поток, создаваемый фиксируемыми в пространстве пор нано блока-

ми слюд с высоким поверхностным зарядом, не способным компенсироваться в отсутствии K^{1+} (Кринари, Храменков, 2009; 2011). Такие блоки возникают в ходе обратной трансформации вторичного иллита в исходный сметтит за счёт снижения концентрации раствора и взаимодействия с пластовой микрофлорой, сопровождаясь образованием смешанослойных иллит-сметтитов.

В прикладном аспекте главный интерес представляет выявление ранних стадий обводнения по минералогическим критериям, что послужило основной целью проводимых исследований. На этой основе можно будет совершенствовать методики интерпретации данных геофизических исследований скважин (ГИС) для детализации смещения зон заводнения и выбора оптимальных технологий добычи нефти. Но кинетика процессов во многом остаётся неизученной, так как отсутствуют методы анализа реальной структуры промежуточных смешанослой-

Окончание статьи Е.Н. Серовой (Михайловой) «Ретроспектива исследований визейских врезов»

E.N.Serova. Retrospective of the Visean Down-Cuttings Exploration.

Field exploration experience and various investigations of geology and oil bearing in the Republic of Tatarstan (Russia) enriched and significantly contributed to the geological exploration theory and practice. Attention of the researchers to the Lower Carboniferous deposits attracted thick masses of sandstone, entrenching in the Tournai stage carbonaceous rocks and controlling considerable oil reserves distribution in the flanks of the Kamsko-Kinelsky Depression System. Detailed study of the geological structure of down-cuttings development regularities conduces forecasting and oil potential areas allocation on the previously explored areas in the Republic of Tatarstan. In the article are also reviewed different points of view of the down-cuttings genesis, researches reasons for acceptability of each point of view are provided. In conclusion, the author emphasizes the role of down-cutting study in the Republic of Tatarstan.

Keywords: down-cutting, erosion, karst, genesis, studies.

*Евгения Николаевна Серова
(Михайлова)*

Младший научный сотрудник. Область научных интересов: изучение геологии эрозивно-карстовых врезов, совершенствование методов поиска и разведки нефтяных месторождений.

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, Казань
420087, Казань, ул. Даурская, 28. Тел.: (843) 298-16-17.



ных продуктов трансформации вторичных слюды.

Основным и хорошо разработанным методом исследования смешанослойных фаз служит фитинг, при котором теоретическим спектрам базальной дифракции глинистых минералов подбирают такие параметры, при которых они становятся близкими к экспериментальным для различных обработок препарата и состава обменных катионов (Sakharov et al., 1999). Фитинг основан на формализме цепей Маркова, где для любой последовательности слоёв вероятностные характеристики однородны статистически и характеризуются единой величиной дисперсии. Эти условия полностью выполняются для объектов, возникших в закрытых системах, при катагенезе, когда параметры среды постоянны и термодинамически стабильны. Все статистические структурные характеристики имеют строгий физический смысл, что не является универсальным для любых осадочных пород. Обратная трансформация вторичных слюд, включая фазы иллит-смектит, сопровождается диспергированием за счёт возникших механических напряжений и частичным выносом продуктов из зоны реакции (Кринари, Храмченков, 2009; Кринари и др., 2001).

Статистическая однородность смешанослойных образований нарушается, частично превращая дисперсную фракцию в механическую смесь глинистых минералов, гетерогенных по своей структуре и генезису. Тогда присутствующие в породе минералы глины нельзя рассматривать как совокупность фаз, имеющих статистически постоянные и средние характеристики. Фитинг в изучении обратной трансформации не будет вполне корректным, поскольку система в той или иной степени становится открытой и не остаётся постоянной, а её конечный итог зависит как от скорости деградации, так и от скорости удаления новых фаз, что потребовало разработки иных методик установления кинетики процессов обратной трансформации.

Допустимое и реализуемое на практике сопоставление экспериментальных спектров с теоретическими кривыми не обеспечивает однозначного результата потому, что 00L дифракция фаз иллит-смектит как с $1\text{H}_2\text{O}$, так и с $2\text{H}_2\text{O}$ может создавать максимумы в общей широкой области обратного пространства, но их спектры становятся идентичными при насыщении этиленгликолем. Нужен хотя бы ещё один наблюдаемый параметр, значение которого можно смоделировать.

Для выполнения этого условия предложен метод разностных спектров, при котором дифракционные кривые воздушного сухого препарата и насыщенного этиленгликолем образца (Рис. 1а) нормируются по рефлексу минерала без разбухающих пакетов (Рис. 1б), и второй вычитается из первого (Рис. 1с). Такой разностный спектр не содержит вклада в дифракцию от слюды каолинита и хлорита, почти не зависит от состава самих 2:1 слоёв и аппаратной функции, и наиболее полно отражает структуру фаз с межслоевыми промежутками типа смектита. Остальная часть спектра представляет собой прямую линию. Высоту этой «нулевой линии» по отношению к оси ординат, обозначаемую как L_z , для спектра «воздух минус этиленгликоль» даёт соотношение интенсивностей в двух экстремальных точках. В интервале $0,05\text{--}0,15\text{ 1/\text{Å}}$ их положение и значение L_z зависит от доли в смешанослойной фазе ком-

понент слюды (pM), смектита (pS), и толщины пакетов смектита, содержащих или $1\text{H}_2\text{O}$ или $2\text{H}_2\text{O}$.

Задача облегчается тем, что не требует оценки вероятностей чередования слоёв с различными межслоевыми промежутками, поскольку в ходе процесса структурный облик смешанослойных фаз может постоянно меняться. Вполне достаточно фиксировать сам факт появления или исчезновения минеральных фаз, которые можно интерпретировать как индикаторы определённых этапов процесса. Их формируют определённые комбинации пакетов разной толщины, соответствующей базальным межплоскостным расстояниям d_{00L} слюды 10 \AA , смектита с одной сеткой воды ($1\text{H}_2\text{O}$) между слоями $12,4\text{ \AA}$, смектита с двумя сетками воды ($2\text{H}_2\text{O}$) – $14,4\text{ \AA}$ и смектита насыщенного этиленгликолем $16,8\text{ \AA}$.

Чередование пакетов вдоль кристаллографической оси c^* , которая задаёт направление оси текстуры ориентированного дифрактометрического препарата, позволяет регистрировать картины базальной дифракции – рефлексы типа 00L. Съёмка проводилась в линейной шкале обратных межплоскостных расстояний размерности $1/\text{Å}$ и шагом $0,0008\text{ 1/\text{Å}}$. Приведённые значения d_{00L} выбраны для преобладания одно- либо двухвалентных обменных катионов соответственно. Их состав будет отражать, в некоторой степени, величину слоевого заряда, поскольку при обратной трансформации, кроме удаления K^{1+} , необходимо его снижение за счёт частичной замены Si^{4+} тетраэдров на Al^{3+} . Очевидно, что оба эти процесса могут реализоваться лишь микрофлорой пласта (Кринари и др., 2005), её метаболиты тоже должны присутствовать в межслоевом пространстве, хотя никак пока не учитываются.

Появление в смешанослойных фазах пакетов диоктаэдрического вермикулита с зарядом, промежуточным между слюдой и смектитом, показано ранее (Sakharov et al., 1999). В объектах, содержащих биоценозы, присутствие молекул органики и их фрагментов между 2:1 слоями имеет экспериментальное подтверждение (Шинкарев и др., 2011). Очевидно, что это может быть только растворимое в воде вещество, способное влиять на толщину промежутка между слоями. Поэтому значения d_{00L} для $1\text{H}_2\text{O}$ и $2\text{H}_2\text{O}$ можно рассматривать как граничные, а соотношение в каждом объекте фаз с разной толщиной лабильных промежутков считать одним из критериев оценки степени развития процесса отрицательной трансформации.

При образовании разностного, как и обычного спектра смешанослойных фаз, выполняется правило Меринга-Дрица (Drits & Tchoubar, 1990), по которому максимумы дифракции от смешанослойных структур локализируются в обратном пространстве между теми положениями 00L рефлексов гомогенных фаз, чьи пакеты и их регулярные сочетания задают переслаивание, а интенсивности зависят, кроме структурных амплитуд, от расстояниями между отражениями от исходных фаз (Рис. 1с).

При типичном составе 2:1 слоёв и факторами ближнего порядка $R=0;1;2;3$ были рассчитаны теоретические «разностные спектры» системы иллит-смектит во всём реальном диапазоне концентраций компоненты слюды (pM) и смектита (pS) с сетками $1\text{H}_2\text{O}$ или $2\text{H}_2\text{O}$. Состав слоёв при-

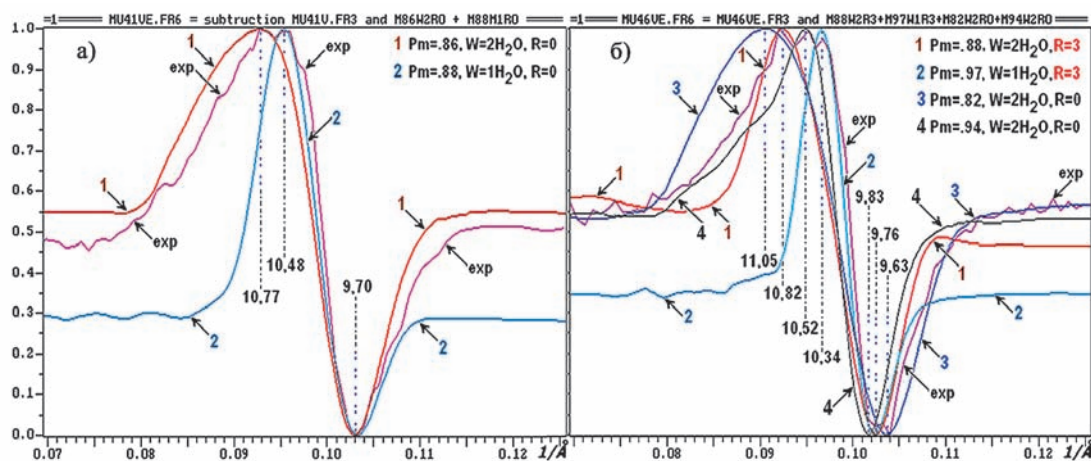


Рис. 7. а) Разностный спектр образца Му41 за пределами влияния зоны обводнения, б) Разностный спектр образца Му46, влияния обводнения не фиксируемого по ГИС.

ное расщепление локальных экстремумов, как минимумов, так и максимумов.

Для примера на рисунке 7 приведены спектры двух контрастных образцов: Му41 и Му46. Структуру смешанослойных фаз для первого можно проинтерпретировать как неупорядоченную, с $R=0$ и $pM \approx 0,85$ при наличии лабильных пакетов разной толщины. Спектр образца Му46 явно расщеплён по крайней мере на три локальных экстремума, два из них отвечают структурам с $R=3$ при разной толщине лабильных пакетов и величине pM . Все структурные параметры для образцов этого разреза приведены на рисунке 6.

Из приведённых результатов следует, что изменения структуры минеральных фаз происходит раньше, чем заводнение может фиксироваться по стандартным методикам геофизических исследований скважин. Возможно, что этот факт может иметь практическое значение в дальнейшем. Процесс заводнения действительно начинается с разрыва частиц вторичных слюд по границам между отдельными нано блоками. В дифракции это проявляется как появление фазы иллит-сметтит с фактором $R=3$. Так как доля слюды в подобных структурах не может быть выше 75 %, дальнейшее удаление калия сразу приводит к нарушению регулярности, и возникают фазы с $R=0$, содержание компонента сметтита в которых может возрастать, пока на спектре не появится рефлекс 17 \AA , а заводнение не начнёт фиксировать ГИС.

Литература

- Drits V.A., Tchoubar C. X-ray Diffraction by Disordered Lamellar Structures. Berlin: Springer-Verlag. 1990. 371.
- Krinari G.A., Khranchenkov M.G., Muslimov R.Kh. Artificial Reverse Mica Transformation and its Role in Oil Production. *Georesources*. 2000. V. 2 [2]. 30-37.
- Sakharov B.A., Lindgreen H., Salyn A.L., and Drits V.A. Determination of Illite-Smectite structures using multispecimen x-ray diffraction profile fitting. *Clays & Clay Minerals*. 1999. vol. 47, No. 5. 555-566.
- Кринали Г.А., Гиниятуллин К.Г., Шинкарёв А.А. Абиогенная и биогенная деградация минералов: различия, механизмы и практические приложения. *Записки ВМО*. 2005. Т. СXXXIV, №1. 17-32.
- Кринали Г.А., Храменков М.Г. Образование и миграция природных наночастиц в нефтяных пластах. Казань: Издво КГУ. 2009. 228.

Кринали Г.А., Храменков М.Г. Обратная трансформация вторичных слюд осадочных пород: механизмы и приложения. 2011. *Доклады РАН*. том 436. № 5. 1-7.

Кринали Г.А., Храменков М.Г., Мухаметшин Р.З. Причины и механизмы разрушения стенок скважин в кыновских глинах. *Геоэкология, гидрогеология*. 2001. №4. 15-22.

Шинкарёв (мл) А.А., Исламова Г.Г., Губайдулина А.М., Лыгина Т.З., Гиниятуллин К.Г., Шинкарёв А.А., Кринали Г.А. Диагностика органической составляющей в глинистых породах. *Разведка и охрана недр*. 2011. № 3. 43-46.

J.S. Rakmatulina, G.A. Krinari. Revelation of the Initial Stages of the Producing Reservoirs Watering by Secondary Mica Restructuring.

Development of the main reason countering of the filtering industrial fall in the terrigenous rocks, which has mineralogic and physical-chemical nature, requires consideration of the structure transformation dynamics in the illite-smectite system. Well-known analysis methods of the mixed-layer phases on the basis of fitting procedure are not completely correct for such objects. The alternative approach is proposed, based on the analysis of pictures obtained by spectrum subtracting, registered after saturation of species with ethylene glycol, from the dry object spectrum. The computer calculated such spectra in the all range of concentration of the illite and smectite components at different type of structure orderliness - factor of the R short-range order. It has been established that at the initial stage of transformation a phase with one H_2O net between layers and $R=3$ short-range order appears, which is interpreted as an intrusion of water on blocks boundaries. In the flooded collectors several illite-smectite phases with various probability parameters of structures are present. Selection criteria of theoretical spectra the closest to the experimental ones are found.

Key words: oil recovery, mica, illite-smectite phases, diffractometry.

Юлия Шамилевна Рахматулина

Инженер-исследователь лаборатории запасов и ресурсов углеводородного сырья и проектов геологоразведочных работ.

Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан
420087, Казань, ул. Даурская, 28. Тел.: (843) 299-35-03.

Георгий Александрович Кринали

К.геол.-мин.н., доцент кафедры минералогии и литологии.

Казанский федеральный университет, Институт геологии и нефтегазовых технологий
420008, Казань, Кремлевская 18. Тел.: (843) 292-96-92.