

Литохимическая зональность и циклическое строение пермских отложений на северо-восточном склоне Южно-Татарского свода

В настоящей работе представлены новые данные по литохимии (в основном нижнепермских) отложений, вскрытых биотестировочными скважинами на северо-восточном склоне Южно-Татарского свода. Определены ведущие литохимические показатели, определяющие литохимическую зональность разреза и его циклическое строение. В ходе описания кернового материала установлено, что литологический состав нижнепермских отложений, вскрытых биотестировочными скважинами, преимущественно карбонатный, представленный монотонным чередованием известняков и доломитов, что делает сложным выделение более детальных геологических границ. Попытки установить геологические границы по фаунистическим остаткам также не дали результатов ввиду сильной измененной формы остатков раковин руководящей фауны процессами наложенного эпигенеза, что, в свою очередь, делает невозможным их идентифицировать. Однако анализ литофациальных карт по исследуемым отложениям позволил детально установить геологические границы; а по вариациям основных породообразующих оксидов по разрезу скважин выделены циклы седиментации, которые четко накладываются на границы ярусов и горизонтов.

Ключевые слова: литолого-фациальный анализ, Пермские отложения, рентген-флуоресцентный анализ, хемостратиграфия, Южно-Татарский свод.

Пермские отложения относятся к одному из наиболее изучаемых стратиграфических объектов в России и, в частности, в Республике Татарстан. Это обусловлено как историей стратиграфии (именно в европейской части России Р.И. Мурчисон открыл пермскую систему в 1841 году), так и минерагеническим значением пермских отложений, выступающих резервуарами природных битумов и других нерудных полезных ископаемых.

Основные выходы пермских отложений в Республике Татарстан наблюдаются по берегам рек Волги, Камы, Шешмы. Здесь находятся опорные и эталонные разрезы среднепермского и позднепермского возрастов. Нижнепермские отложения вскрываются только скважинами структурного бурения и скважинами специального назначения.

Пермские отложения характеризуются пестротой фациального состава с большой долей переходных и континентальных фаций и меньшей долей морских фаций, относящихся, в основном, к нижнепермским и казанским отложениям, что создает определенные сложности в биостратиграфическом расчленении разрезов. Одной из основных тенденций в исследовании пермских отложений является поиск различных критериев стратиграфического расчленения и корреляции пермских разрезов и изменение стратиграфических схем пермской системы как в связи с развитием Международной стратиграфической шкалы, так и в связи с развитием направлений стратиграфии, одним из которых, например, выступает хемостратиграфия.

В настоящей работе опробуется хемостратиграфический подход, то есть рассматриваются вариации содержания химических элементов и их отношений как индикаторы стратификации для слабоизученных пермских разрезов с плохо сохранившимися фаунистическими остатками на северо-восточном склоне Южно-Татарского свода. Эти разрезы были вскрыты скважинами, пробуренными в конце 90-х годов XX века для биотестировочных целей в рамках

поисково-разведочных работ на углеводородное сырье.

Объектами исследования явились скважины 158-Т, 85-Т, 93-Т, расположение которых показано на рис. 1. Из этих скважин был отобран керн, поступивший на хранение в Казанский федеральный университет. Первичное описание керна сохранилось в геологических журналах, послуживших для составления первоначальных литологических колонок скважин. Корректность стратиграфической привязки описанных отложений проверялась путем сопоставления текстовых описаний и карт распространения пермских отложений различного возраста по данным (Сементовский, 1973; Геология Татарстана..., 2003). Пример подобной проверки корректности привязки показан в таблице 1 (скв. 158-Т).

В результате проведенной проверки были построены разрезы с откорректированными литостратиграфическими границами (Рис. 2).

В качестве лабораторного геохимического метода исследований был использован экспрессный рентгено-флуоресцентный анализ (РФА), реализованный на спектрометре BRUKER Tracer III-SD. Портативный анализатор Tracer III-SD предназначен для быстрого качественного и количественного элементного анализа, в диапазоне химических элементов от магния до урана, в том числе и легких элементов без использования вакуумного насоса и продувки гелием. Принцип работы основан на явлении «фотоэффекта». Основное аналитическое программное обеспечение прибора работает на КПК в операционной системе MS Windows CE. Данные по элементному составу и погрешности измерений сохраняются в формате таблицы Excel (Портативный рентгеновский спектрометр ..., <http://www.melytec.ru/production/analysis/portablertoentgen/trace>).

Данные по химическому составу осадочных пород были использованы для построения кривых и диаграмм распределения химических элементов в горных породах для целей стратификации и циклизации разрезов.

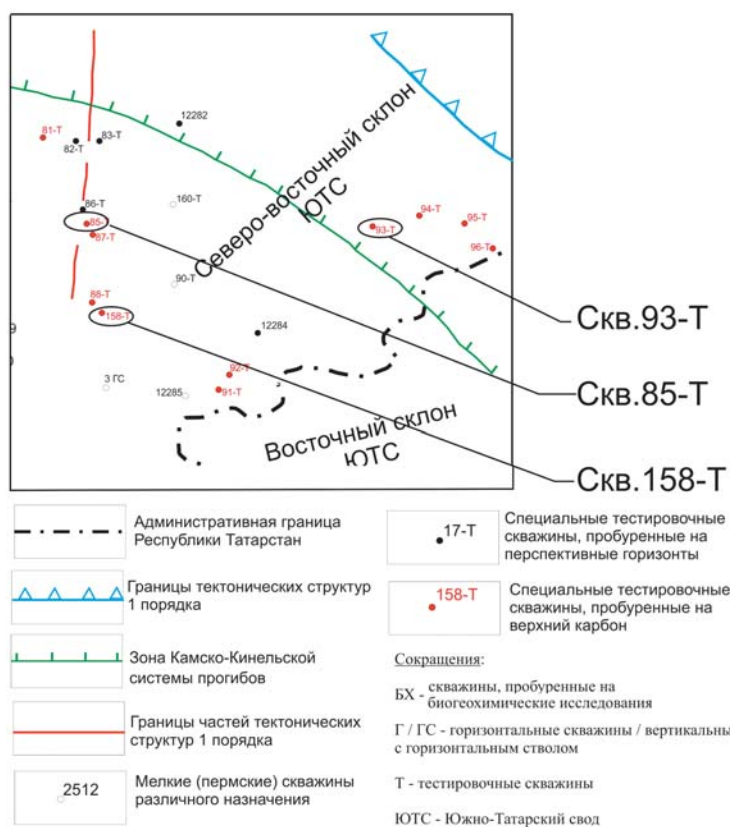


Рис. 1. Карта-схема расположения исследуемых скважин.

По данным измерений были построены вариации содержания химических элементов и их отношений по разрезам. Литостратиграфические границы в основном согласуются с хемотратиграфическими границами (Рис. 3-5).

Литохимические параметры (Юдович и др., 2000) использовались для интерпретации обстановок осадконакопления. Группа параметров, характеризующих терригенный привнос с суши, включает оксиды кремния, титана, алюминия, калия и железа. Группа параметров, характеризующих хемогенное и биохемогенное осадконакопление, включает оксиды кальция, магния, фосфора, марганца. Гидролизатный модуль служит для оценки зрелости обломочных осадочных пород, а отношения $\text{CaO}/(\text{MgO} + \text{FeO} + \text{MnO})$ для литохимической дифференциации карбонатных пород.

По данным анализа распределения элементов по разрезу (Рис. 3-5) видно, что осадконакопление в позднем карбоне и ранней перми происходило в условиях морского бассейна, где периодически происходила смена режима солености (об этом свидетельствует наличие эвапоритов в разрезе); при этом преобладали бассейны с нормальным режимом солености. В преудимское время произошел перерыв в осадконакоплении. В уфимское время морской режим осадконакопления сменился континентальным (Игнатьев, 1996).

Выделение седиментационных циклов в разрезах было произведено на основании использования терригенных и хемогенных литохимических компонентов, а также по данным гамма-каротажа, который был проведен, к сожалению, не во всех частях разрезов. Возрастные терригенной составляющей (SiO_2 и другие родственные компоненты) указывает на понижение уровня воды в бассейне осадконакопления, а возрастание хемогенной составляющей (CaO и родственные компоненты) указывает на повышение уровня воды. Таким образом, обозначаются границы циклов (Рис. 3-5).

В результате выявляются семь циклов седиментации в скважинах 158-Т, 85-Т; и 93-Т, охарактеризованные с применением терминов секвенс-стратиграфии (Габдуллин и др., 2008). Секвенсы скв. 158-Т описаны более подробно, так как в ней наиболее полно представлен керновый материал и каротажные диаграммы.

Циклы Сква. 158-Т

Гжельский – II секвенс залегает на частично вскрытом *гжельском – I секвенсе* и представлен преимущественно известняком, с примазками глины, с фауной кораллов. Породы характеризуются повышенными содержаниями CaO .

Ассельский – I секвенс и *ассельский – II секвенс* образовывались преимущественно в эпиконтинентальном мелководном бассейне. Накапливались карбонатные и хемогенные осадки: наблюдается переслаивание известняка и доломита; развиты загипсованные, мелкокристаллические, трещиноватые разности, каверны выполнены кальцитом и глиной, органогенные разности содержат остатки кораллов и фузулинид. Наличие сульфатных прослоев и включений указывает на усиление аридного климата.

Стратон	Кровля-подошва, м (по геологическому журналу)	Мощность, м	Сравнение с литературными данными по мощности, литологии, фаунистическим трендам
Казанские отложения отсутствуют			Согласуется
Шешминский горизонт уфимского яруса (елабужский тип)	30-122	92	Согласуется
Соликамский горизонт уфимского яруса (средняя пачка, терригенно-глинисто-карбонатный тип разреза)	122-126	4	Согласуется
Стерлитамакский горизонт сакмарского яруса	126-226	100	Согласуется
Тастубский горизонт сакмарского яруса	226-267	41	Согласуется
Ассельский ярус	267-389	132	Мощность больше текстовой примерно на 30 м
Гжельский ярус (верхний карбон)	389-500	111	Согласуется

Табл. 1. Корреляция информации в геологическом журнале с литературными данными и корректировка литолого-стратиграфических границ скв. 158-Т.

Сакмарский секвенс образовывался в морском бассейне, на что указывают повышенные содержания CaO , P_2O_5 и пониженные содержания K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 . Верхняя граница секвенса проходит по несогласию с уфимскими отложениями, нижняя граница – по подошве сакмарского яруса. Хорошо отбивается поверхность MFS (максимального уровня затопления) по кривой ГК, что соответствует кровле ТСТ (трансгрессивного тракта).

Тракт низкого стояния уровня моря (ТНС) формировался в раннесакмарское время и соответствует отложениям тастубского горизонта. На низкое стояние уровня моря указывают минимальные значения CaO , P_2O_5 . Тракт слагается карбонатными отложениями, загипсованными, с прослоями глинистого материала. Фаунистический комплекс представлен пелициподами, гастроподами и сирингопорами.

ТСТ, видимо, образовался в раннестерлитамакское время, когда произошел подъем уровня моря над бровкой шельфа. Породы данного системного тракта представлены известняками, прослоями глинистыми.

Тракт высокого стояния уровня моря (ТВС) формировался в позднесакмарское время. Отложения данного тракта

та характеризованы осадками верхней части стерлитамакского горизонта и представлены преимущественно глинистыми известняками.

В преуфимское время происходил длительный перерыв в осадконакоплении. Здесь в уфимское время происходит преимущественно терригенная седиментация.

Уфимский – I секвенс. Нижняя граница секвенса проходит по несогласию с сакмарским ярусом. Максимальный уровень затопления отчетливо отбивается по кривой ГК. Отложения секвенса представлены терригенными осадками песчано-алевролитового и глинистого состава.

Уфимский – II секвенс. MFS хорошо прослеживается по кривой ГК и прослою известняка, который отмечается в верхней части шешминского горизонта. Представлен, в основном, песчано-глинистыми осадками. Формировался, преимущественно, в прибрежно-морской зоне. В породах фиксируются повышенные значения MnO , K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 .

Циклы Скви. 85-Т

Гжельский – I, II, III секвенсы. Представлены преимущественно известняками и доломитами загипсованными.

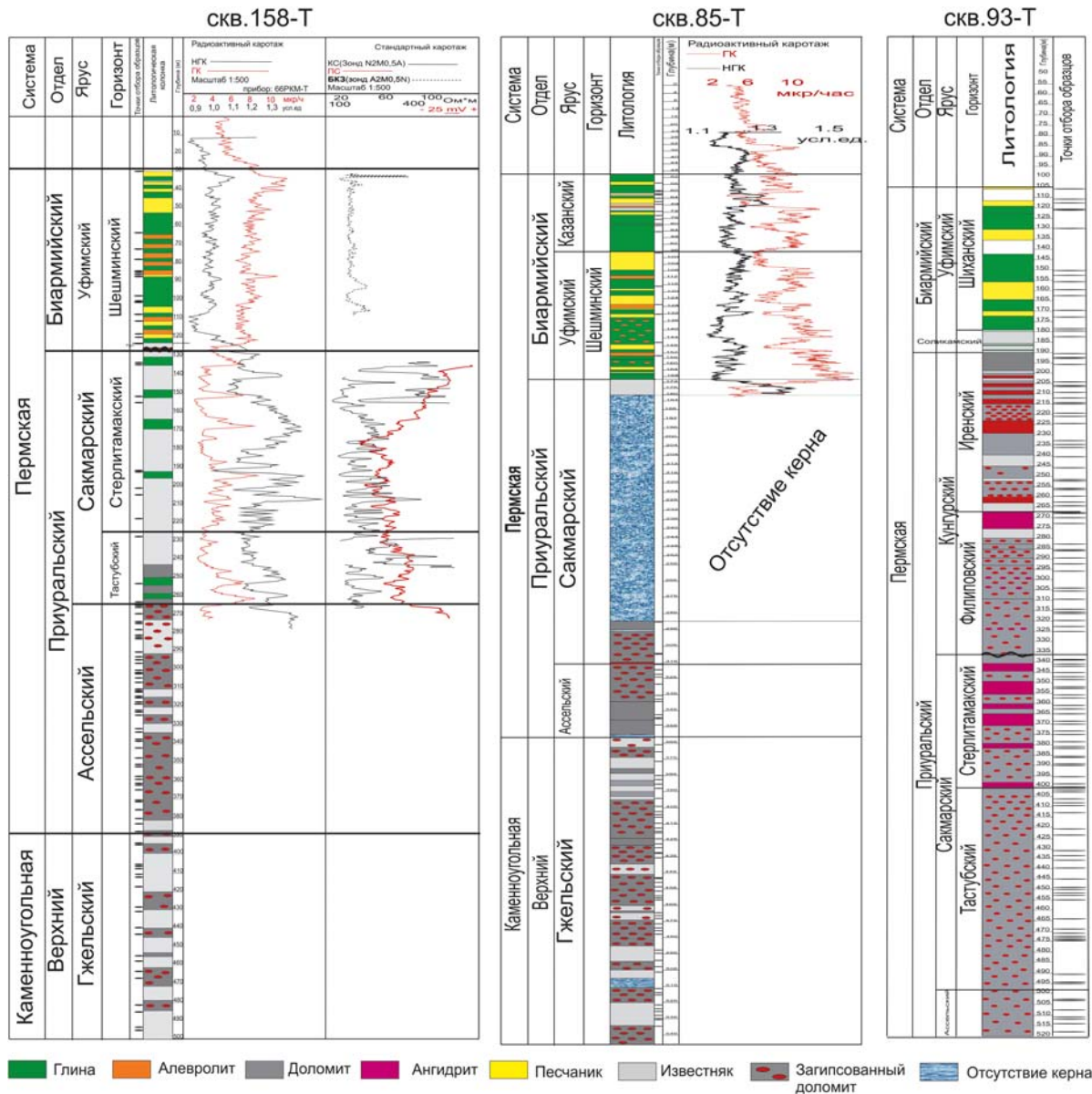


Рис. 2. Откорректированные варианты разрезов скважин по литературным данным.

сква. 158-Т

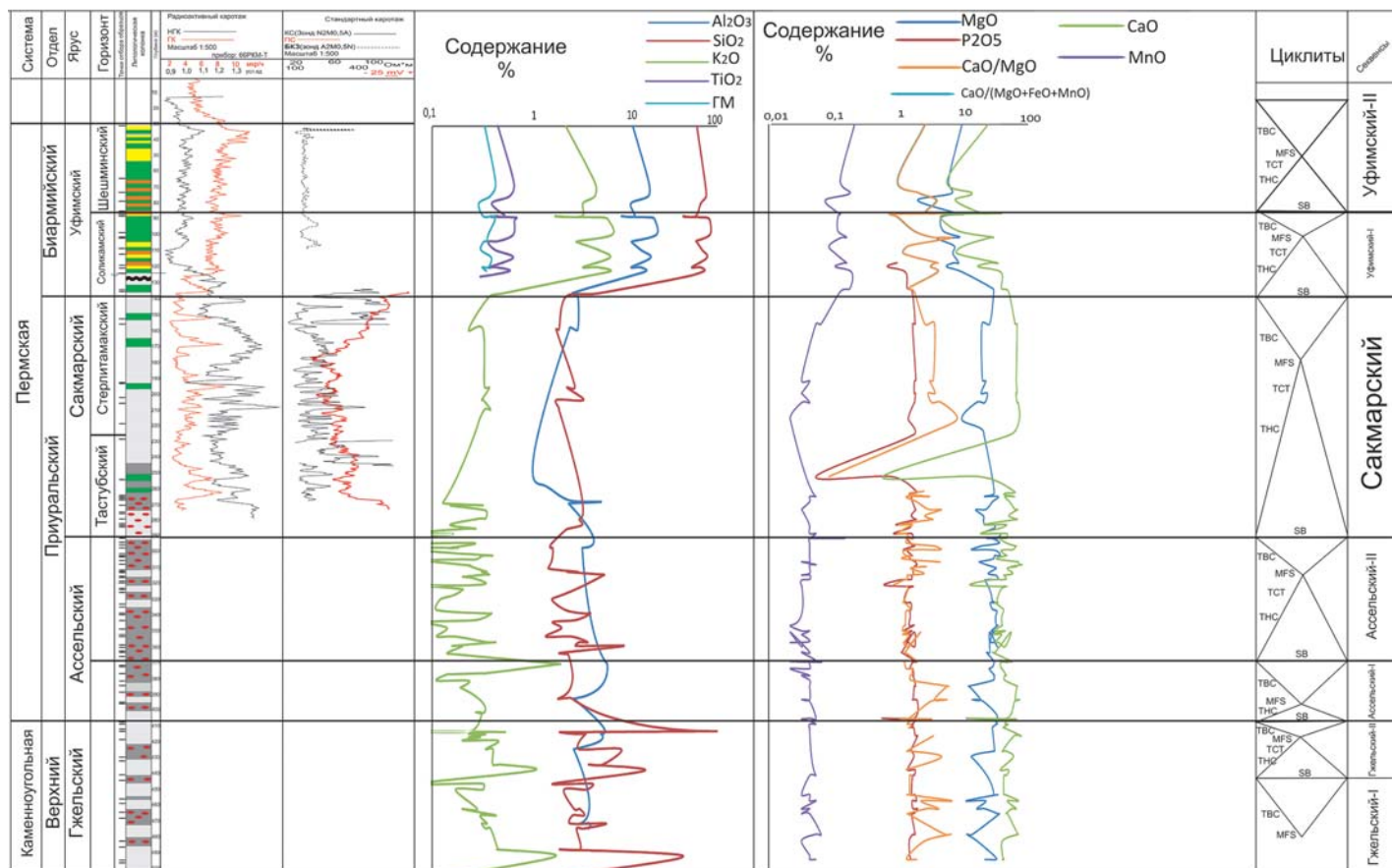


Рис. 3. Литохимическая зональность и седиментационные циклы в скважине 158-Т.

сква. 85-Т

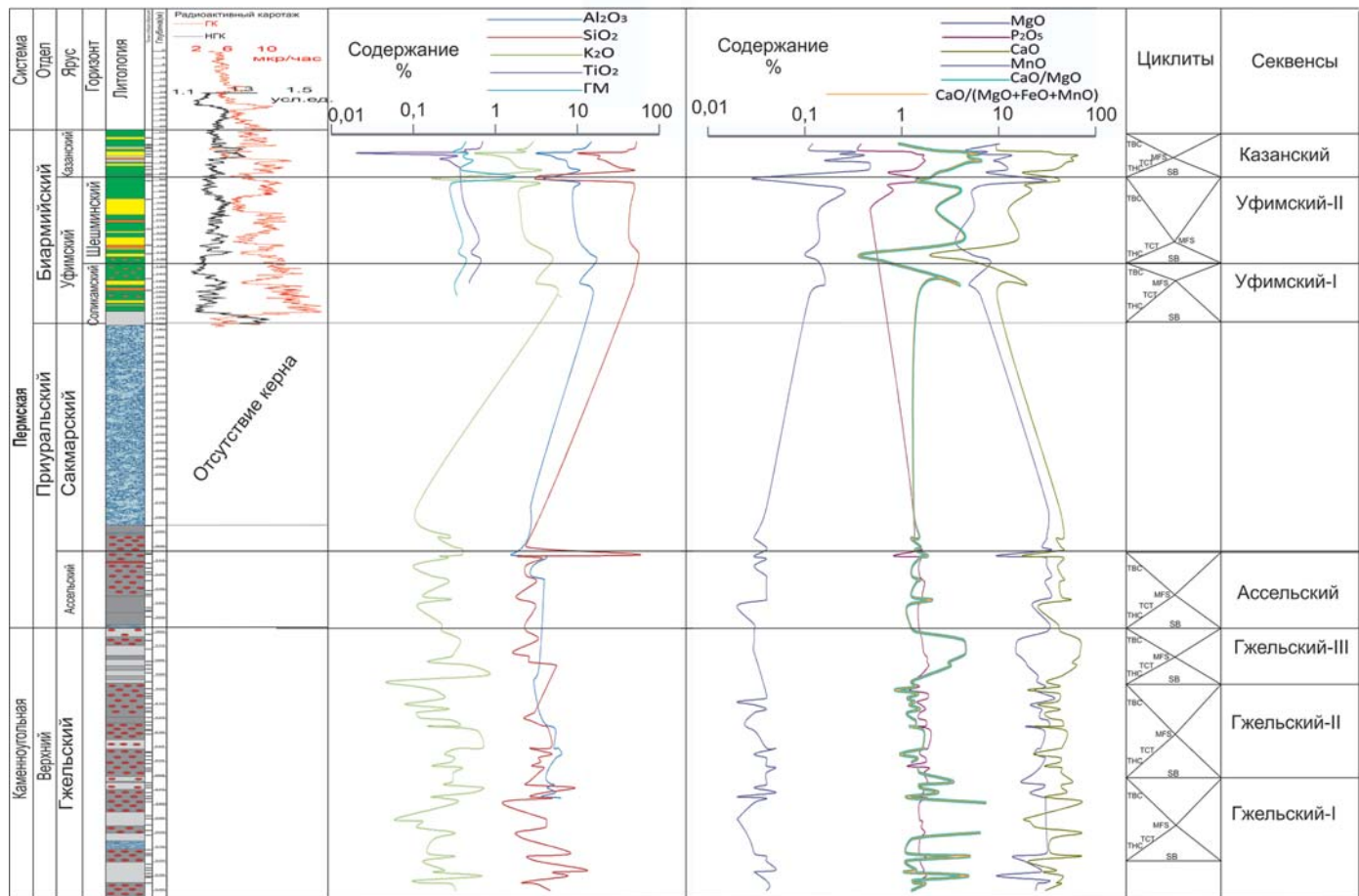


Рис. 4. Литохимическая зональность и седиментационные циклы в скважине 85-Т.

Максимальные уровни затопления хорошо отбиваются по максимумам CaO , P_2O_5 . В отложениях гжелского яруса выделяются 3 седиментационных цикла. Ввиду наличия сульфатов, преимущественно осадконакопление происходило в лагунных условиях.

Ассельский секвенс. Породы данного секвенса образовывались преимущественно в эпиконтинентальном мелководном бассейне. В отложениях присутствуют толщи гипсов и ангидритов, что указывает (как и в скв. 158-Т) на осадконакопление в аридных условиях.

В сакмарском ярусе выделить секвенсы не удалось ввиду отсутствия ядерного материала и каротажных диаграмм.

Секвенсы *уфимский – I*, *уфимский – II* соответствуют соликамскому и шешминскому времени осадконакопления. Так как вверх по разрезу уменьшается содержание CaO и P_2O_5 и увеличивается содержание Al_2O_3 , K_2O , SiO_2 , осадконакопление шло в континентальных условиях. Максимальный уровень затопления выделяется по минимальным значениям кривой ГК и резкому смену тренда кривой вариаций CaO и P_2O_5 . Нижняя граница секвенса прослеживается по границе несогласия с сакмарскими отложениями.

Подосва *казанского* секвенса выделяется по резкому

уменьшению значений ГК, указывающему на увеличение песчаного материала (начало нового секвенса).

Циклы Скв. 93-Т

Сакмарский секвенс представлен загипсованными доломитами. Граница доказана по результатам хемотратиграфического анализа (повышенное содержание сульфатной серы, увеличение содержания магния). Максимальный уровень затопления выделен по максимуму содержания P_2O_5 и CaO . Кровля сакмарского секвенса проходит по несогласной границе с кунгурским ярусом.

Секвенсы *филипповский – I*, *филипповский – II* стратиграфически привязаны к отложениям филипповского горизонта. Максимальные уровни затопления четко прослеживаются по вариациям CaO и P_2O_5 . Представлены загипсованными доломитами и известняками. Здесь границы секвенсов выделены по максимумам SiO_2 .

Секвенсы *иренский – I*, *иренский – II* соответствуют породам иренского возраста. Границы секвенсов здесь выделены аналогично как и в филипповском горизонте: по точке максимума SiO_2 . Максимальные уровни затопления выделены по максимумам CaO и P_2O_5 . Представлен горизонт известняками, загипсованными доломитами,

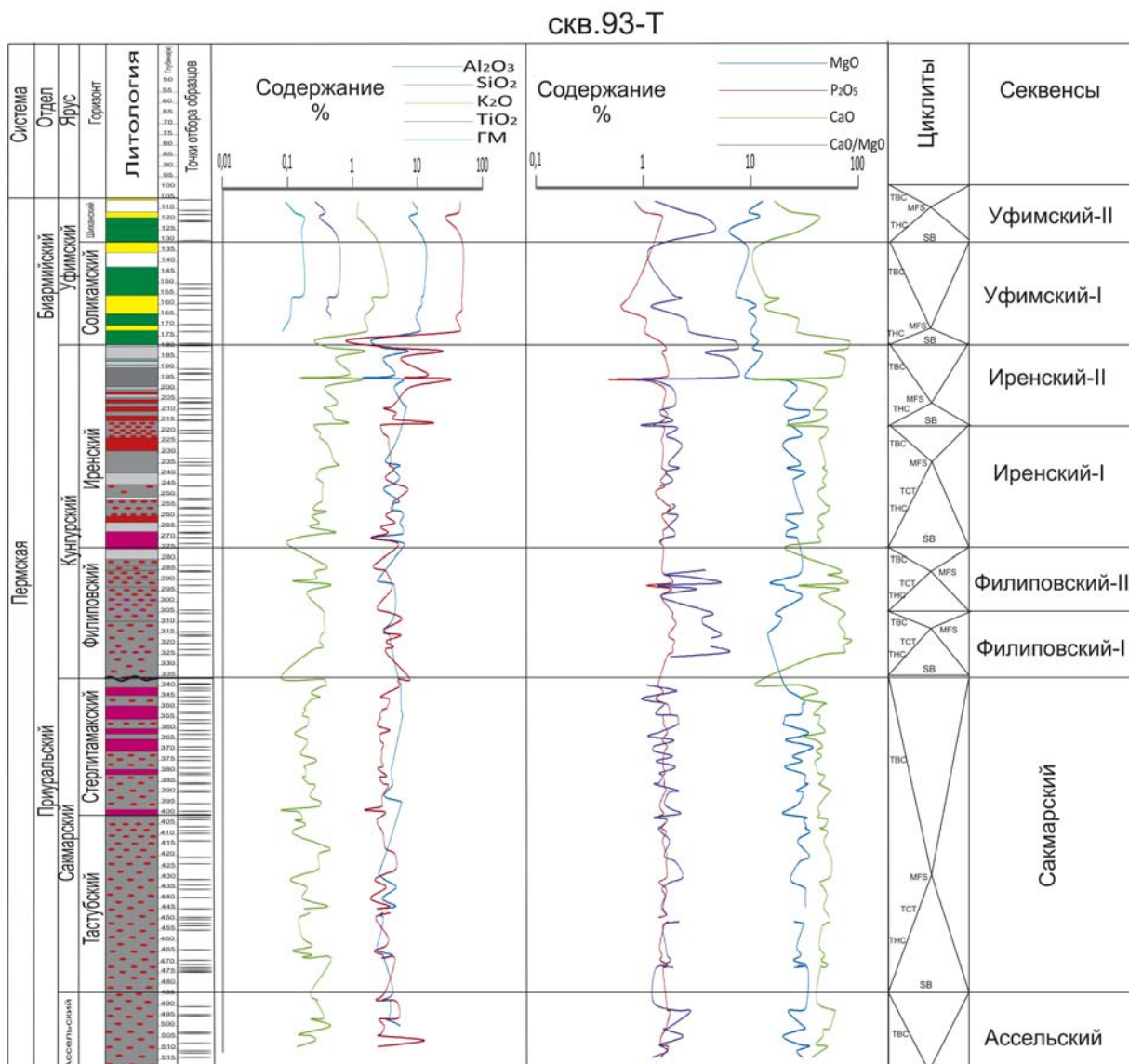


Рис. 5. Литохимическая зональность и седиментационные циклы в скважине 93-Т.

пластами гипсов и ангидритов, что свидетельствует о колебаниях уровня морского бассейна, где происходила периодическая смена режима солености.

Граница между секвенсами *уфимский – I* и *иренский – II* проходит по резкой смене морских и континентальных фаций кунгурского и уфимского ярусов. В уфимском ярусе выделены 2 секвенсы: *уфимский – I* и *уфимский – II*, стратиграфически соответствующие соликамскому и шешминскому горизонту. Граница между секвенсами проведена по максимуму SiO_2 и минимуму CaO и P_2O_5 (по резкому скачку на кривых вариаций элементов, что интерпретируется как резкая смена фациальной обстановки осадконакопления). Уровни максимального затопления четко фиксируются по вариациям CaO и P_2O_5 .

Таким образом, в ходе проведенных исследований была получена литохимическая зональность и циклизация нижнепермских разрезов на территории северо-восточного склона Южно-Татарского свода на основе данных, полученных методом РФА. Полученные зоны и циклы укладываются в существующие общие представления об эволюции осадконакопления в конце позднего карбона и на протяжении ранней перми, характеризующейся сменной биохомогенного и хомогенного осадконакопления в позднем карбоне, ассельском и сакмарском веках на терригенное осадконакопление в уфимском веке (Геология Татарстана..., 2003).

Литература

Портативный рентгеновский спектрометр для анализа химического состава – Tracer III-SD. Компания Мелитэк. <http://www.melytec.ru/production/analysis/portableoentgen/trace>.

Габдуллин Р.Р., Кобаевич Л.Ф., Иванов А.В. Секвентная стратиграфия: Учебное пособие. М.: МАКС Пресс. 2008. 113 с.

Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника. Под ред. Бу-ров Б.В., Есаулова Н.К., Губарева В.С. М.: ГЕОС. 2003. 402 с.

Игнат'ев В.И. Закономерности фациальных изменений верхнепермских отложений Урало-Поволжья. Стратотипы и опорные разрезы верхней перми Поволжья и Прикамья. Казань. 1996. 207 с.

Сементовский Ю.В. Условия формирования месторождений минерального сырья в позднепермское время на востоке Русской платформы. Казань: «Таткнигоиздат». 1973. 256 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.А. Основы литохимии. Санкт-Петербург: «Наука». 2000. 480 с.

Сведения об авторах

Радмир Римович Хазиев – аспирант кафедры геологии нефти и газа

Эдуард Ирекович Фахрутдинов – аспирант кафедры геологии нефти и газа

Нурия Гавазовна Нургалиева – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геологии нефти и газа

Институт геологии и нефтегазовых технологий Казанского (Приволжского) федерального университета
420008, Россия, Казань, ул. Кремлевская, д. 4/5
Тел: (843)233-79-81

Lithochemical Zoning and Cyclic Structure of Permian Sediments in the North-Eastern Slope of the South Tatar Arch

R.R. Khaziev, E.I. Fakhrutdinov, N.G. Nurgalieva

Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia, e-mail: radmir361@mail.ru

Abstract. This paper presents new data on lithochemistry, mainly Lower Permian sediments, penetrated by bio-testing wells on the north-eastern slope of the South Tatar arch. The leading indicators defining lithochemical zoning and cyclic structure of the section are determined. Based on core material, lithological composition of the Lower Permian sediments penetrated by bio-testing wells is mainly carbonate with monotonous alternation of limestone and dolomite, which complicates selection of detailed geological boundaries. Attempts to establish geological boundaries by faunal remains have failed due to greatly modified shell residues of the leading fauna by superimposed epigenetic processes. However, analysis of lithofacies maps of the studied sediments allowed establishing in detail geological boundaries. Sedimentation cycles, which are clearly superimposed on tiers and horizons borders, were allocated based on variation of basic rock-forming oxides.

Keywords: lithofacial analysis, Permian sediments, x-ray-fluorescence analysis, chemostratigraphy, South Tatar arch.

References

Portativnyy rentgenovskiy spektrometr dlya analiza khimicheskogo sostava – Tracer III-SD. Melytec [Portable X-ray spectrometer for analysis of chemical composition – Tracer III-SD. Melytec]. <http://www.melytec.ru/production/analysis/portableoentgen/trace>

Gabdullin R.R., Kobaevich L.F., Ivanov A.V. Sequence stratigraphy. Moscow: “MAKS Press” Publ. 2008. 113 p. (In russian)

Geologiya Tatarstana: Stratigrafiya i tektonika [Geology of Tatarstan: Stratigraphy and tectonics]. Ed. Burov B.V., Esaulova N.K., Gubareva V.S. Moscow: “GEOS” Publ. 2003. 402 p.

Ignat'ev V.I. Zakonomernosti fatsial'nykh izmeneniy verkhnepermiskikh otlozheniy Uralo-Povolzh'ya [Regularities facies changes Upper Permian deposits of the Ural-Volga region]. Stratotipy i opornye razrezy verkhney permi Povolzh'ya i Prikam'ya [Stratotypes and reference sections of the Upper Permian of the Volga and Kama regions]. Kazan. 1996. 207 p.

Seментovskiy Yu.V. Usloviya formirovaniy mestorozhdeniy mineral'nogo syr'ya v pozdnepermское время na vostoке Russkoy platformy [Conditions of mineral deposits formation in the Late Permian on the east of the Russian Platform]. Kazan: “Tatkniгоizdat” Publ. 1973. 256 p.

Yudovich Ya.E., Ketris M.A. Osnovy litokhimii [Basics of lithochemistry]. St.Petersburg: “Nauka” Publ. 2000. 480 p.

Information about authors

Radmir R. Khaziev – PhD student of the Oil and Gas Geology Department

Eduard I. Fakhrutdinov – PhD student of the Oil and Gas Geology Department

Nuriya G. Nurgalieva – Doctor of Science, Professor of the Oil and Gas Geology Department

Institute of Geology and Petroleum Technologies, Kazan (Volga region) Federal University
420008, Kazan, Kremlevskaya str., 4/5
Phone: +7 (843)233-79-81