

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ НЕФТИ И ГАЗА

УДК 552.5/553.983:551.762.3(571.1)

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ

А.Э. Конторович, П.А. Ян, А.Г. Замирайлова, Е.А. Костырева, В.Г. Эдер

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

Предложена классификация пород баженовской свиты по соотношению четырех породообразующих компонентов, представленных кремнистыми, глинистыми, карбонатными минералами и органическим веществом (керогеном), которые имеют преимущественно био- и хемогенное, в меньшей степени аллотигенное происхождение. В ее основу положены результаты аналитического определения химического и минералогического состава более 400 образцов керна 15 скважин, пробуренных на большей части территории распространения баженовской свиты в Западно-Сибирском нефтегазоносном бассейне. Выделены четыре основных класса пород, разделенных на 16 подклассов. Введены понятия микститов и керогенсодержащих пород. Микститы (биогенно-хемогенные микститы) — это класс пород, в которых содержание ни одного из минералов (групп минералов) и минералоидов (кероген) не достигает 50 %.

Установлено, что наиболее распространенными породами в баженовской свите являются кремнисто-глинистые, кероген-кремнистые, кероген-глинисто-кремнистые микститы и керогеновые силициты, в совокупности составляющие около 65 % общей выборки образцов. Реализованный подход может быть использован при описании и классификации пород многочисленных черносланцевых формаций в мире.

Нефтематеринские отложения, классификация пород, баженовская свита, Западная Сибирь.

CLASSIFICATION OF ROCKS OF THE BAZHENOV FORMATION

A.E. Kontorovich, P.A. Yan, A.G. Zamirailova, E.A. Kostyreva, and V.G. Eder

In this study we propose a new classification of rocks of the Bazhenov Formation based on the proportions of four principal components (siliceous, clay, and carbonate minerals and organic matter (kerogen)) of mostly biogenic and, to a lesser extent, allothigenic origin. The classification is based on the results of mineralogical and chemical analyses of more than 400 core samples from 15 wells drilled within the Bazhenov Formation, West Siberian petroleum basin. Four major classes of rocks, divided into 16 subclasses, have been recognized. The terms mixtite and kerogen-rich rock are introduced. Mixtites (biogenic mixtites) are defined as a class of rocks containing less than 50% of each component, including kerogen. It was shown that the most common rocks of the Bazhenov Formation are siliceous-argillaceous, kerogen-siliceous, and kerogen-argillaceous-siliceous mixtites and kerogen silicites, which together account for ~65% of all samples analyzed. The proposed approach can be used to study organic-rich black shales in different sedimentary basins worldwide.

Petroleum source rocks, rock classification, Bazhenov Formation, West Siberia

ИСТОРИЯ ВОПРОСА. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Долгое время считалось, что баженовская свита представляет собой толщу аргиллитов, обогащенных органическим веществом. Так, еще в 1970 г. И.И. Нестеров, Ф.К. Салманов, Г.Р. Новиков, А.В. Тянь, И.Н. Ушатинский писали, что баженовская свита «повсеместно представлена черными тонкоотмученными плотными аргиллитами...» [Салымский..., 1970, с. 228]. Однако при углубленном изучении баженовской свиты стало очевидно, что она имеет чрезвычайно сложный литологический состав и, по крайней мере, в центральных, наиболее глубоководных частях баженовского моря [Гурари и др., 1963;

Атлас..., 1968, 1976; Конторович и др., 1971, 2013; Захаров, Сакс, 1983], является продуктом преимущественно биогенной седиментации. При кажущемся визуальном однообразии баженовской свиты современные аналитические данные показывают, что она крайне неоднородна.

Разработкой классификации пород баженовской свиты занимались многие исследователи [Гурова, Казаринов, 1962; Ушатинский, 1981, 1989; Дорофеева и др., 1983; Филина и др., 1984; Сараев, 1987; Зубков и др., 1987, 2016; Условья..., 1988; Занин и др., 1999, 2005; Эдер, 2002; Гаврилов и др., 2015].

И.Н. Ушатинский [1981] выделял в баженовской свите четыре типа пород: силициты, глины, мергели и известняки. В разрезе баженовской свиты С.И. Филина с соавторами [1984] описали три основных типа пород — аргиллиты, включая подтипы глинистых пород в различной степени окремненных и карбонатизированных, радиоляриты и известняки. М.Ю. Зубков и В.В. Мормышев [1987] предложили классификацию литологических типов пород баженовской свиты района Салымского месторождения на основе построения треугольников вещественного состава. Авторами выделены следующие восемь типов пород баженовской свиты в пределах изучаемой территории: глинистый, карбонатный, глинисто-карбонатный, кремнисто-карбонатно-глинистый, глинисто-кремнисто-карбонатный, глинисто-карбонатно-кремнистый, глинисто-кремнистый, пиритовый. Развитием этих исследований является одна из недавно вышедших работ М.Ю. Зубкова [2016].

Г.Н. Перозо [Условья..., 1988] при классификации пород баженовской свиты также использовала соотношение основных породообразующих компонентов, таких как кремнезем, глинистые минералы и карбонаты, а также хемогенного и биогенного кремнезема. С.В. Сараев (1987) при установлении петрохимической принадлежности пород баженовской свиты использовал методику А.Н. Неелова [1980]. По его данным, изученная выборка пород свиты относится к классам силицитов и субсилицитов. Ю.Н. Занин с соавторами [1999] выделили в составе баженовской свиты два основных типа пород: 1) глинисто-кремнистые породы и силициты; 2) аргиллиты. В.Г. Эдер [2002], используя методы кластерного анализа, по содержанию основных породообразующих оксидов выделила две группы и 11 подгрупп пород баженовской свиты.

Работы, направленные на совершенствование классификации осадочных пород и соответствующей терминологии для осадочных формаций, сложных тонкодисперсными породами, обогащенными аквагенным (водоросли, археи, бактерии) органическим веществом и содержащим минералы, являющиеся продуктами физического разрушения пород на водосборах осадочных бассейнов, хемогенной и биогенной седиментации, выполняются также в США и Европе [Tyson et al., 1979; Tyson, 1995; Bohacs et al., 2005; Adams, Carr, 2010; Dawson, Almon, 2010; Lazar et al., 2010, 2015; Könitzer et al., 2014].

Все попытки разработать терминологию для названия пород баженовской свиты и других черносланцевых формаций не учитывали, однако, одной чрезвычайно важной ее особенности — наличия в ее составе органического вещества (керогена) как породообразующего компонента. Впервые на необходимость учета при описании и классификации осадочных пород количества в нем органического вещества обратили внимание Н.Б. Вассоевич [1973], А.Э. Конторович и В.Е. Савицкий [Кембрий..., 1972; Конторович, Савицкий, 1975; Конторович, 1976]. Этими исследователями были предложены соответствующие классификации. В настоящей работе в классификации и в названии пород использован термин «кероген»: силициты керогеновые, микститы кероген-глинистые и пр.

В самое последнее время необходимость учета количества органического вещества (керогена) в названии осадочных пород отметили также авторы работы [Lazar et al., 2015]. Однако в предложенной этими исследователями классификации наличие в породах керогена как породообразующего компонента не учтено.

Для описания баженовской свиты, ее детального расчленения и корреляции, установления статистических связей между минералогическим составом пород и результатами геофизических исследований скважин, выхода на новый уровень понимания особенностей и закономерностей развития волжского осадочного бассейна необходима специальная классификация слагающих ее пород. Понятно, что аналогичная ситуация возникает при изучении и других черносланцевых формаций. В настоящей работе предпринята попытка построить такую классификацию, отличающуюся от предложенных ранее и широко используемых с учетом наличия в осадочных породах в качестве породообразующего компонента органического вещества (керогена). После построения классификации выполнен статистический анализ встречаемости в баженовской свите отдельных классов пород.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

При изучении пород баженовской свиты их минералогический состав определялся по результатам рентгенодифрактометрических, электронно-микроскопических исследований, спектрального анализа глинистой фракции в инфракрасной области спектра, определения концентрации породообразующих химических элементов методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), определения форм железа и

серы, концентрации $C_{\text{орг}}$ в породах, определения элементного состава керогена. Для расчета минерального состава пород баженовской свиты были использованы адаптированные к особенностям минералогического состава пород свиты балансовые методы расчета минералогического состава пород по результатам анализа их химического состава [Страхов, Залманзон, 1955; Флоренский и др., 1964; Розен, 1981; Розен, Нистратов, 1984; Богородская и др., 2005]. Подчеркнем, что при анализе учитывалось содержание не органического углерода, а органического вещества. В результате расчетов были определены содержания основных минеральных компонентов пород (кремнезема, глинистых минералов, в том числе отдельных групп глинистых минералов, альбита, керогена, кальцита, доломита, апатита, пирита и барита). Результаты расчетов контролировались петрографическими и рентгенофазовыми исследованиями. Важно заметить, что, как показывают химико-битуминологические исследования керна, породы баженовской свиты содержат в повышенных количествах элементарную серу. Определение ее концентраций на данном этапе исследований не производилось.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

В основу предлагаемой классификации положен принцип разделения пород баженовской свиты по составу основных групп минералов и минералоидов (кероген). В соответствии с результатами петрографических, минералогических и геохимических исследований принято, что основная масса пород баженовской свиты сложена следующими минеральными и минералоидными компонентами:

- продукты биохимической концентрации минерального вещества (кальцит, кремнезем);
- планктоно- и бентосогенное (археи, бактерии, простейшие эукариоты) органическое вещество (кероген), сохранившееся после диагенетических и катагенетических превращений;
- продукты химического разрушения и тончайшей дисперсии первичных пород в областях водосборов (глинистый аллотигенный материал);
- аутигенные продукты химической концентрации минерального вещества на стадиях позднего диагенеза и катагенеза.

При построении классификации необходимо учитывать, что на отдельных этапах образования и преобразования пород баженовской свиты в результате биохимических и химических процессов могли формироваться идентичные по химическому и минералогическому составу фазы. Продукты более ранних этапов литификации являлись источником вещества для минералообразования на более поздних стадиях. По этой причине классификация не является в полной мере генетической.

Материалом для составления классификации послужила коллекция из более 400 образцов пород баженовской свиты, отобранных из керна 14 скважин, пробуренных на территории центральных районов Западно-Сибирской геосинеклизы (Ханты-Мансийский автономный округ, запад Томской и север Новосибирской областей). Основную часть выборки составляют образцы, отобранные из скважин, пробуренных в зонах, где палеоглубины волжского моря были максимальны [Конторович и др., 2013].

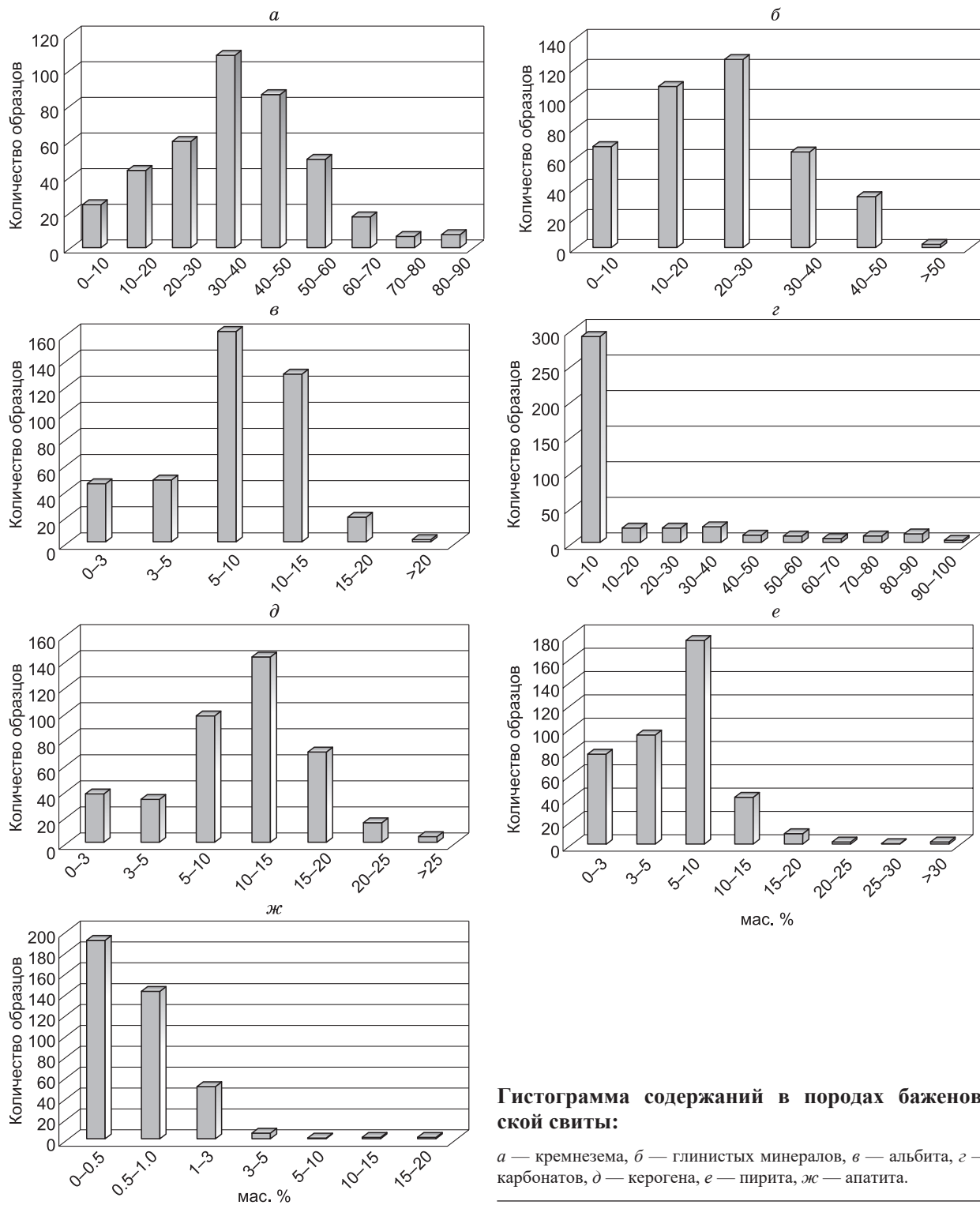
КЛАССИФИКАЦИЯ ПОРОД. ХАРАКТЕРИСТИКА ВЫДЕЛЕННЫХ КЛАССОВ

Изученная выборка образцов характеризуется следующим количественными вариациями содержания компонентов пород (%): минералы кремнезема — от 0.8 до 88.6, в среднем 37.1; глинистые минералы — от 1.1 до 51.6, в среднем 22.3; альбит — от 0 до 23.9, в среднем 8.4; карбонатные минералы — от 0 до 92.3, в среднем 14.3, органическое вещество (кероген) — от 0.2 до 27.8, в среднем 10.8; пирит — от 0 до 23.5, в среднем 6.2; апатит — от 0.1 до 17.5 (в среднем 0.8) (рисунок).

Таким образом, основными пороодообразующими минеральными и минералоидными компонентами пород баженовской свиты являются кремнистые, глинистые, карбонатные минералы и кероген, которые за редким исключением в сумме составляют более 75 мас. % породы. Остальная часть породы сложена пиритом, апатитом, баритом, элементарной серой и другими компонентами.

Авторами была предпринята попытка построить классификацию перечисления пород, слагающих баженовскую свиту, по главным минеральным компонентам в их составе. При этом в классификацию впервые включен и кероген. Для деления пород на классы и подклассы были выбраны граничные значения концентраций 25 и 50 % для минеральных фаз и 10 % для органического вещества (керогена). Построенная на этих принципах классификация перечисления, как показал анализ, содержит много «пустых» классов. По этой причине она была сокращена и все «пустые» классы из классификации убраны. В окончательном виде в классификации осталось четыре крупных класса пород: силициты, аргиллиты, карбонатные породы (далее карбонаты) и смешанные породы, которые авторы назвали микститы (таблица). Большинство из выделенных классов (силициты, карбонаты, микститы) были разделены на не-пустые подклассы.

С 60-х годов прошлого века известно, что породы баженовской свиты содержат в высоких концентрациях пирит [Гурова, Казаринов, 1962; Конторович, 1967]. При описании керна авторы наблюдали



Гистограмма содержаний в породах баженовской свиты:

а — кремнезема, *б* — глинистых минералов, *в* — альбита, *г* — карбонатов, *д* — керогена, *е* — пирита, *ж* — апатита.

отдельные слои толщиной до 5—20 см, а также крупные трещины, практически нацело выполненные пиритом. М.Ю. Зубков [2015, 2016] отметил, что в одной из скважин на Салымском месторождении был зафиксирован пласт толщиной до 1 м, сложенный на 40—60 % пиритом, на 25—30 % карбонатами (кальцит, доломит, сидерит). Площадь распространения пласта (карбонатно-пиритовой линзы) не установлена. Вряд ли она велика. В выборке образцов баженовской свиты, изученных в настоящей работе, имеются два образца, в которых пирит, образуя стяжения и выполняя трещины, достигает порообразующих концентраций (39.1, 48.1 %). В классификации эти случаи не учтены.

Классификация пород баженовской свиты

№ п/п	Классы пород	Подклассы	Критерии, мас. %				Минералогический состав, мас. %												Встречаемость, %									
			Кремнистые минералы	Глинистые минералы	Карбонатные минералы	Кероген	Альбит			Карбонаты			Кероген			Пирит				Апатит								
							min	max	сред.	min	max	сред.	min	max	сред.	min	max	сред.		min	max	сред.						
Общая характеристика выборки																												
1	Силлициты	>50	—	—	—	—	0.8	88.6	37.1	1.1	51.6	22.3	0.0	23.9	8.4	0.0	92.3	14.3	0.2	27.8	10.8	0.0	23.5	6.2	0.1	17.5	0.8	—
1-1	Силлициты	>50	—	—	—	—	50.1	88.6	61.3	3.2	26.5	14.5	0.5	16.8	5.6	0.0	27.5	2.4	1.7	20.9	10.3	1.2	11.4	5.1	0.1	16.9	0.8	19.9
1-2	Силлициты	>50	—	—	—	—	50.1	88.6	67.3	3.2	22.9	13.2	1.0	16.8	5.1	0.0	27.5	3.6	1.7	9.5	6.1	1.2	9.9	3.3	0.1	16.9	1.3	8.1
2	Аргиллиты	>50	—	—	—	—	50.2	76.0	57.3	3.2	26.5	15.4	0.5	10.5	5.9	0.0	8.5	1.6	10.1	20.2	13.1	2.8	11.4	6.3	0.2	1.9	0.5	11.9
2-1	Аргиллиты	>25	—	—	—	—	29.1	29.2	29.2	51.5	51.6	51.5	11.9	12.3	12.1	1.6	1.7	1.6	1.5	1.9	1.7	2.6	2.8	2.7	1.2	1.3	1.2	0.5
3	Карбонаты	—	—	—	—	—	0.8	36.2	9.5	0.7	27.5	6.7	0.0	5.9	2.5	50.6	92.3	74.2	0.2	14.2	3.8	0.0	10.6	2.5	0.2	2.5	0.8	9.8
3-1	Карбонаты	—	—	—	—	—	0.8	36.2	8.6	0.7	27.5	6.5	0.0	5.9	2.4	50.6	92.3	76.5	0.2	9.4	2.9	0.0	10.6	2.2	0.2	2.5	0.8	8.8
3-2	Карбонаты	—	—	—	—	—	15.2	19.3	16.9	4.4	15.2	8.5	2.9	4.9	3.9	50.7	57.7	53.6	10.0	14.2	11.6	2.9	6.9	4.9	0.3	0.9	0.5	1.0
4	Микситы	<50	—	—	—	—	9.3	49.5	34.1	1.1	49.7	26.4	0.0	23.9	10.0	0.0	49.4	9.6	1.3	27.8	12.0	1.5	23.5	7.1	0.2	17.5	0.9	69.7
4-1	Микситы	25—50	—	—	—	—	34.8	48.7	43.4	11.4	24.8	21.6	4.4	13.2	9.7	1.4	20.9	10.4	5.2	9.9	7.9	2.4	6.9	3.6	0.9	10.6	3.4	1.8
4-2	Микситы	<25	—	—	—	—	19.6	23.8	21.8	38.7	45.6	41.9	11.4	17.1	14.3	2.2	15.3	9.5	1.7	7.8	5.4	5.5	7.6	6.4	0.3	1.5	0.7	1.0
4-3	Микситы	<25	—	—	—	—	13.1	23.3	18.6	13.0	33.0	23.2	5.5	6.6	6.3	26.1	45.3	38.2	3.8	9.2	6.1	5.1	8.9	7.1	0.2	1.1	0.6	1.0
4-4	Микситы	<25	—	—	—	—	10.7	22.5	16.5	16.4	22.7	19.8	6.0	9.9	8.2	9.2	24.0	16.1	15.7	27.8	21.5	9.4	23.5	16.9	0.6	1.7	1.1	1.3
4-5	Микситы	25—50	—	—	—	—	25.7	47.4	33.6	25.2	49.7	37.6	4.5	18.3	13.4	0.0	15.0	3.9	1.3	9.9	6.1	1.5	9.5	4.6	0.2	3.6	0.7	19.7
4-6	Микситы	25—50	—	—	—	—	32.9	45.4	38.9	6.6	19.2	11.2	1.5	3.5	2.6	26.1	41.2	34.8	5.1	9.8	7.9	2.6	5.8	4.2	0.3	0.5	0.4	1.0
4-7	Микситы	25—50	—	—	—	—	25.8	49.5	41.4	2.5	24.9	19.9	2.9	23.9	8.6	0.0	24.1	4.5	10.0	27.5	16.2	3.0	15.1	8.5	0.2	17.5	0.9	17.9
4-8	Микситы	<25	—	—	—	—	10.1	22.2	17.3	26.5	39.5	32.1	7.0	13.4	9.3	2.2	20.0	9.4	11.3	25.2	17.1	5.5	21.2	14.2	0.3	1.2	0.7	1.8
4-9	Микситы	<25	—	—	—	—	9.3	23.8	17.4	1.1	23.7	13.3	0.0	10.9	6.6	25.8	49.4	36.8	10.3	19.3	14.4	2.3	16.6	10.1	0.2	12.7	1.3	6.3
4-10	Микситы	25—50	—	—	—	—	27.5	49.0	37.6	25.0	38.8	28.9	5.6	14.5	10.2	0.0	9.5	3.2	10.2	20.8	13.7	1.8	11.1	5.9	0.2	2.0	0.6	14.9
4-11	Микситы	25—50	—	—	—	—	25.8	37.2	30.1	1.9	16.5	11.3	3.2	8.3	5.5	25.9	36.3	30.7	10.3	16.0	12.7	6.0	16.7	8.9	0.3	2.8	0.9	3.0

Ниже будут описаны выделенные классы и изложены соображения для введения термина «микститы».

Силициты. В этот класс выделены породы баженовской свиты, в которых содержание минералов кремнезема более 50 %. Они составляют около 20 % от рассматриваемой выборки образцов. По концентрации органического вещества они разделяются на собственно силициты и керогеновые силициты, имеющие примерно равную распространенность с небольшим преобладанием последних (8.1 и 11.9 % соответственно).

Собственно *силициты* характеризуются содержанием (%) кремнистого материала от 50.1 до 88.6 (в среднем 61.3) и керогена от 1.7 до 9.5 (в среднем 6.1). Содержание суммы глинистых минералов в силицитах меняется от 3.2 до 22.9 % (в среднем 13.2 %), пирита — от 1.2 до 9.9 % (в среднем 3.3 %). Карбонатность этих пород пониженная. Содержания кальцита и доломита варьируют от 0 до 9.9 % (в среднем 2.3 %). В двух образцах зафиксированы ураганные концентрации — 18.6 и 27.5 %. Альбит присутствует в породах баженовской свиты в концентрациях от 1.0 до 9.1 % с единичными ураганными значениями до 16.8 % (в среднем 5.1 %). Апатит присутствует в количествах от 0.1 до 3.9 % (в среднем 0.8 %). В одном образце его концентрация составила 16.9 %.

Силициты керогеновые представлены породами с содержанием кремнистого материала от 50.2 до 76.0 % (в среднем 57.3 %) и органического вещества от 10.1 до 20.2 % (в среднем 13.1 %). Концентрация глинистых минералов (сумма) составляет от 3.2 до 26.5 % (в среднем 15.4 %). Содержание (%) кальцита и доломита изменяется от 0 до 8.5 (в среднем 1.6), альбита — от 0.5 до 10.5 (в среднем 5.9), пирита — от 2.8 до 11.4 (в среднем 6.3), апатита — 0.2—1.9 (в среднем 0.5).

Аргиллиты. В этот класс выделены породы с содержанием глинистых минералов (сумма) более 50 %. В рассматриваемой выборке он оказался самым малочисленным (встречаемость около 0.5 %) и объединяет образцы с очень низкими вариациями компонентного состава. Зафиксированное содержание глинистых минералов (сумма) составляет 51.5—51.6 %. По содержанию кремнистого материала аргиллиты кремнистые (29.1—29.2 %). Содержание альбита изменяется от 11.9 до 12.3 %; карбонатность — 1.6—1.7 %. Пирит присутствует в концентрациях от 2.6—2.8 %. Содержание керогена низкое — 1.5—1.9 %, апатита — 1.2—1.3 %.

Карбонатные породы (карбонаты). Эта группа объединяет породы с содержанием карбонатных минералов (преимущественно кальцит, реже доломит) не менее 50 %. В изученной выборке частота встречаемости карбонатов составляет 9.8 %. В их составе по содержанию органического вещества выделены два подкласса: собственно карбонаты («чистые», встречаемость 8.8 %) и малочисленный подкласс керогеновых карбонатов (встречаемость 1 %).

В подклассе карбонатов содержание карбонатных минералов составляет от 50.6 до 92.3 % (в среднем 76.5 %). Все остальные компоненты присутствуют в подчиненных концентрациях. Минералы кремнезема — от 0.8 до 18.3 % (в среднем 7.8 %); суммы глинистых минералов — от 0.8 до 14.8 % (в среднем 5.9 %). В единичных образцах содержание кремнистого материала составляет 36.2 %, а содержание глинистого — 27.5 %, и формально эти образцы должны быть выделены в отдельные подклассы кремнистых и глинистых карбонатов соответственно. Однако из-за крайней малочисленности в рассматриваемой выборке выделение этих подклассов нецелесообразно. Содержание керогена составляет от 0.2 до 6.4 % (в среднем 2.7 %); пирита — от 0 до 7.4 % (в среднем 2.0 %). В одном образце отмечено повышенное содержание одновременно и керогена (9.4 %), и пирита (10.6 %). Концентрации альбита изменяются от 0 до 5.9 % (в среднем 2.4 %); апатита — от 0.2 до 2.5 % (в среднем 0.8 %).

Керогеновые карбонаты отличаются от карбонатов несколько пониженными суммарными содержаниями карбонатных минералов (50.7—57.7 %), повышенными — кремнистого материала (15.2—19.3 %, в среднем 16.9 %) и керогена (10.0—14.2 %, в среднем 11.6 %). Концентрации (%) глинистого материала составляют 4.4—15.2 (в среднем 8.5); пирита — 2.9—6.9 (в среднем 4.9); альбита — 2.9—4.9 (в среднем 3.9); апатита — 0.3—0.9 (в среднем 0.5).

Микститы (биогебно-хемогенные микститы). В этот крупный класс выделены породы, в которых содержание ни одного из компонентов не достигает 50 %. Он является самым многочисленным (около 70 % от изученной выборки) и самым разнообразным по составу минеральных компонентов. По соотношению пороодообразующих компонентов выделены одиннадцать подклассов (см. таблицу), которые по количеству преобладающих групп минералов с содержанием от 25 до 50 % можно условно разделить на однокомпонентные (кремнистые, глинистые, карбонатные), двухкомпонентные (кремнисто-глинистые, кремнисто-карбонатные, кероген-кремнистые, кероген-глинистые и кероген-карбонатные) и трехкомпонентные (кероген-глинисто-кремнистые и кероген-кремнисто-карбонатные) микститы. Более двух третей образцов пород этого класса относятся к трем подклассам из одиннадцати: кремнисто-глинистым (19.7 % от общей выборки), кероген-кремнистым (17.9 % от выборки) и кероген-глинисто-кремнистым (14.9 % от выборки) микститам.

Основными породообразующими компонентами *кремнисто-глинистых микститов*, как следует из названия подкласса, являются глинистый (25.2—49.7 %, в среднем 37.6 %) и кремнистый (25.7—47.4 %, в среднем 33.6 %) материал, остальные компоненты находятся в концентрациях менее 25 %. Содержание альбита изменяется от 4.5 до 18.3 % (в среднем 13.4 %). Карбонатность пород, как правило, невысокая — от 0 до 15 % (в среднем 3.9 %). Содержание керогена варьирует от 1.3 до 9.9 % (в среднем 6.1 %). Содержание пирита изменяется от 1.5 до 9.5 % (в среднем 4.6 %); апатита — от 0.2 до 1.6 % (в среднем 0.7 %), в единичных образцах — до 3.6 %.

В подкласс *кероген-кремнистых микститов* выделены породы с повышенным содержанием кремнистого материала (от 25.8 до 49.5 %, в среднем 41.4 %) и керогена (от 10.0 до 27.5 %, в среднем 16.2 %). Концентрация глинистых минералов обычно изменяется от 11.0 до 24.9 % (в среднем 20.6 %), в единичных образцах пород — 2.5—6.9 %. Альбит составляет от 2.9 до 11.9 % (в среднем 8.4 %), в одном образце — 23.9 %; пирит — от 3.0 до 15.1 % (в среднем 8.5 %); апатит — от 0.2 до 2.0 % (в среднем 0.6 %) с ураганными значениями 4.0 и 17.5 %. Карбонатность этих пород обычно изменяется от 0 до 15.3 % (в среднем 3.7 %), в одном образце — 24.1 %.

Кероген-глинисто-кремнистые микститы содержат (%) кремнистые минералы в концентрациях от 27.5 до 49.0 (в среднем 37.6), сумму глинистых минералов — от 25.0 до 38.8 (в среднем 28.9) и кероген — от 10.2 до 20.8 (в среднем 13.7). Содержание (%) альбита изменяется от 5.6 до 14.5 (в среднем 10.2), карбонатных минералов — от 0 до 9.5 (в среднем 3.2), пирита — от 1.8 до 11.1 (в среднем 5.9), апатита — от 0.2 до 2.0 (в среднем 0.6).

Следующими по встречаемости (6.3 % от общей выборки) являются *кероген-карбонатные микститы*. В них выделены породы с содержанием карбонатного материала от 25.8 до 49.4 % (в среднем 36.8 %) и керогена — от 10.3 до 19.3 % (в среднем 14.4 %). Концентрации кремнистых минералов варьируют от 9.3 до 23.8 % (в среднем 17.4 %); глинистых — от 1.1 до 23.7 % (в среднем 13.3 %). Содержание альбита изменяется от 0 до 10.9 %, составляя в среднем 6.6 %, пирита — 2.3—16.6 % (в среднем 10.1 %), апатита — 0.2 до 2.2 % (в среднем 0.6 %), в единичных случаях до 12.7%.

Кероген-кремнисто-карбонатные микститы составляют 3.0 % выборки и характеризуются близкими концентрациями карбонатного (25.9—36.3 %, в среднем 30.7 %) и кремнистого (25.8—37.2 %, в среднем 30.1 %) материала. Содержания керогена изменяются от 10.3 до 16.0 % (в среднем 12.7 %). В относительно невысоких концентрациях присутствуют в породах этого подкласса глинистые минералы (1.9—16.5 %, в среднем 11.3 %), пирит (6.0—16.7 %, в среднем 8.9 %), альбит (3.2—8.3 %, в среднем 5.5 %) и апатит (0.3—2.8 %, в среднем 0.9 %).

Кремнистые микститы составляют 1.8 % образцов в выборке. Преобладающим компонентом в них является кремнистый материал (34.8—48.7 %, в среднем 43.4 %). В подчиненных количествах (%) присутствуют глинистые минералы (обычно от 19.5—24.8, в среднем 23.3, единичное значение 11.4), альбит (8.1—13.2, в среднем 10.6, единичное значение 4.4), кероген (5.2—9.9, в среднем 7.9), пирит (2.4—6.9, в среднем 3.6), апатит (0.9—3.7, в среднем 2.2, с единичным значением 10.6). Около 70 % всех образцов кремнистых микститов характеризуются карбонатностью от 1.4 до 10.7 % (в среднем 6.6 %), остальные 30 % образцов имеют карбонатность около 20 % (19.3—20.9 %).

Кероген-глинистые микститы (встречаемость 1.8 %) отличаются от глинистых микститов высокими содержаниями керогена (11.3—25.2 %, в среднем 17.1 %) и пониженными — остальных минеральных групп за исключением пирита и карбонатов. Содержание (%) суммы глинистых минералов варьирует в интервале 26.5—39.5 (в среднем 32.1); кремнистых минералов — от 10.1 до 22.2 (в среднем 17.3); альбита — от 7.0 до 13.4 (в среднем 9.3); апатита — от 0.3 до 1.2 (в среднем 0.7); пирита — от 5.5 до 21.2 (в среднем 14.2). По карбонатности кероген-глинистые микститы делятся на две примерно равные группы: в одной содержание кальцита и доломита варьирует от 2.2 до 6.4 % (в среднем 4.3 %), в другой — от 14.1 до 20.0 (в среднем 16.1 %).

Керогеновые микститы. Встречаемость 1.3 % в изученной выборке. В этот подкласс объединены образцы с содержанием керогена от 15.7 до 27.8 % (в среднем 21.5 %). Концентрации глинистых минералов изменяются от 16.4 до 22.7 % (в среднем 19.8 %), кремнистых — от 10.7 до 22.5 % (в среднем 16.5 %), карбонатов — от 9.2 до 24 % (в среднем 16.1 %). Пирит присутствует в количествах от 9.4 до 23.5 % (в среднем 16.9 %). Содержание альбита составляет 6.0—9.9 % (в среднем 8.2 %), апатита — 0.6—1.7 % (в среднем 1.1 %).

В подкласс *глинистых микститов* (частота встречаемости 1.0 % от общей выборки) объединены породы с содержанием суммы глинистых минералов от 38.7 до 45.6 % (в среднем 41.9 %). В меньших количествах присутствуют кремнистые минералы (19.6—23.8 %, в среднем 21.8 %), альбит (11.4—17.1 %, в среднем 14.3 %), кероген (обычно 1.7—7.8 %, в среднем 5.4 %) и апатит (0.3—1.5 %, в среднем 0.7 %). Пирит присутствует в концентрациях 5.5—7.6 % (в среднем 6.4 %). Карбонатность пород этого подкласса варьирует от 2.2 до 15.3 % (в среднем 9.5 %).

Карбонатные и карбонатно-глинистые микститы (встречаемость 1.0 % от объема выборки) объединяют породы с высокими содержаниями кальцита и доломита (26.1—45.3 %, в среднем 38.2 %). В эти подклассы попало всего четыре образца и потому они описаны совместно. Образцы этих двух подклассов содержат глинистые минералы в концентрациях 13.0, 17.0, 29.5 и 33.0 %. Содержания (%) кремнистых минералов в описываемых подклассах варьируют от 13.1 до 23.3 (в среднем 18.6), керогена — от 3.8 до 9.2 (в среднем 6.1), пирита — от 5.1 до 8.9 (в среднем 7.1), альбита — от 5.5 до 6.6 (в среднем 6.3), апатита — от 0.2 до 1.1 (в среднем 0.6).

Карбонатно-кремнистые микститы. Встречаемость 1.0 % от рассматриваемой выборки образцов. Для этих пород характерно преобладание кремнистых (32.9—45.4 %, в среднем 38.9 %) и карбонатных (26.1—41.2 %, в среднем 34.8 %) минералов. В концентрациях менее 25 % присутствуют глинистые минералы (6.6—19.2 %, в среднем 11.2 %), кероген (5.1—9.8 %, в среднем 7.9 %), альбит (1.5—3.5 %, в среднем 2.6 %), пирит (2.6—5.8 %, в среднем 4.2 %). Содержание апатита изменяется от 0.3 до 0.5 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение вернемся к вопросу о выборе термина для названия наиболее распространенных пород баженновской свиты — микститов. Термин «микститы» (от лат. *mixtus* — смешанный) введен в 1966 г. Л. Шермерхорном [Schermerhorn, 1966] для названия пород, в которых содержание ни одного из компонентов не достигает 50 %.

Этот термин широко используется в геологической литературе для названия различных по минералогии и гранулометрии кластических осадочных пород. Различают разные по генезису типы микститов, например, гравитационные микститы, ледниковые микститы и пр. Породы, содержащие до 50 % грубообломочного материала (крупнее 0.2 см), разделяют на гравийные, галечные и грубообломочные микститы.

Представляется, что определение, данное Л. Шермерхорном, и существующая практика использования этого термина позволяет расширить его применение. В частности, основную массу пород баженновской свиты, как и обогащенных планктоно- и бентосогенным органическим веществом осадочных пород во многих осадочных бассейнах мира (черные сланцы), также следует называть микститами. Эту специфическую по генезису группу микститов было бы целесообразно называть биогенными или, что точнее, биогенно-хемогенными микститами. В словосочетании «биогенно-хемогенные» определение «биогенно-» стоит на первом месте, поскольку биогенное по генезису вещество формирует основную массу первоначального осадка. Расширяющее определение «хемогенные» стоит на втором месте, поскольку хемогенные процессы в диагенезе в литифицирующихся осадках и в катагенезе в породах определяют конечный минералогический облик сформированной породы.

В свою очередь, биогенно-хемогенные микститы следует разделять на подклассы по составу подобно тому, как это сделано выше.

Представляется, что изложенный подход к классификации осадочных горных пород может быть естественно с уточнениями и детализацией использован при изучении обогащенных органическим веществом черносланцевых формаций (black shale) осадочной оболочки Земли (девон и верхняя юра Восточно-Европейской платформы, кембрий Сибирской платформы и др.) — главных источников нефти на планете.

Авторы благодарят Е.А. Предтеченскую за ряд конструктивных редакционных замечаний.

ЛИТЕРАТУРА

Атлас литолого-палеогеографических карт СССР. Т. III. Триасовый, юрский и меловой периоды / Ред. А.П. Виноградов. М., ВАГТ Министерства геологии СССР, 1968, 71 л.

Атлас литолого-палеогеографических карт юрского и мелового периодов Западно-Сибирской равнины м-ба 1 : 5 000 000 / Ред. И.В. Нестеров. Тюмень, ЗапСибНИГНИ, 1976, 24 с.

Богородская Л.И., Конторович А.Э., Ларичев А.И. Кероген. Методы изучения, геохимическая интерпретация. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2005, 254 с.

Вассоевич Н.Б. Основные закономерности, характеризующие органическое вещество современных и ископаемых осадков // Природа органического вещества современных и ископаемых осадков. М., Наука, 1973, с. 11—59.

Гаврилов А.Е., Жуковская Е.А., Тугарова М.А., Остапчук М.А. Целевая классификация пород баженновской свиты (на примере месторождений центральной части Западной Сибири) // Нефтяное хозяйство, 2015, № 12, с. 38—40.

Гурари Ф.Г., Казаринов В.П., Миронов Ю.К., Наливкин В.Д., Нестеров И.И., Осыко Т.И., Ровнин Л.И., Ростовцев Н.Н., Рудкевич М.Я., Симоненко Т.Н., Соколов В.Н., Трофимук А.А., Чо-

- чия Н.Г., Эрвье Ю.Г.** Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирской низменности — новой нефтяной базы СССР. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1963, 201 с.
- Гурова Т.И., Казаринов В.П.** Литология и палеогеография Западно-Сибирской низменности в связи с нефтегазоносностью. М., Гостоптехиздат, 1962, 352 с.
- Дорофеева Т.В., Блинкова Е.Ю.** Литогенетические особенности пород-коллекторов баженовской свиты Западной Сибири // Коллекторы нефти баженовской свиты Западной Сибири. Л., Недра, 1983, с. 131.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Меленевский В.Н.** О двух вещественно-генетических типах черных сланцев баженовской свиты // ДАН, 1999, т. 368, № 1, с. 91—94.
- Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г.** Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна // Литосфера, 2005, № 4, с. 118—135.
- Захаров В.А., Сакс В.Н.** Баженовское (волжско-берриасское) море Западной Сибири // Палеобиогеография и биостратиграфия юры и мела Сибири. М., Наука, 1983, с. 5—32.
- Зубков М.Ю.** Литолого-петрофизическая характеристика отложений баженовской и абалакской свит центральной части Красноленинского свода (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (12), с. 1821—1836.
- Зубков М.Ю.** Особенности распределения урана в битуминозных отложениях баженовской свиты (Западная Сибирь) // Каротажник, 2015, № 5, с. 3—32.
- Зубков М.Ю.** Региональный и локальный прогнозы нефтеносности баженовской и абалакской свит (Западная Сибирь) // Горные ведомости, 2016, № 3-4, с. 46—68.
- Зубков М.Ю., Мормышев В.В.** Вещественный состав и условия образования пород баженовской свиты Салымского месторождения // Литология и полезные ископаемые, 1987, № 2, с. 73—80.
- Кембрий** Сибирской платформы (юдомо-оленекский тип разреза, куонамский комплекс отложений) / В.Е. Савицкий, В.М. Евтушенко, Л.И. Егорова, А.Э. Конторович, Ю.Я. Шабанов. 1972, 198 с. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 130).
- Конторович А.Э.** Геохимия верхнеюрских отложений Западно-Сибирской плиты // Литология и полезные ископаемые, 1967, № 3, с. 90—102.
- Конторович А.Э.** Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М., Недра, 1976, 250 с. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 229).
- Конторович А.Э., Савицкий В.Е.** Геология горючих сланцев и родственных им пород Сибири // Первое республиканское совещание «Горючие сланцы (геохимия и литология)». Тезисы. Ротапринт. Таллин, 1975, с. 21—24.
- Конторович А.Э., Полякова И.Д., Фомичев А.С., Данюшевская А.И., Казаринов В.П., Парпарова Г.М., Трушков П.А., Шпильман К.А.** Закономерности накопления органического вещества на территории Сибири в мезозойскую эру // Геохимия мезозойских отложений нефтегазоносных бассейнов Сибири. Новосибирск, 1971, с. 6—39. (Тр. СНИИГГиМСа, вып. 118).
- Конторович А.Э., Конторович В.А., Рыжкова С.В., Шурыгин Б.Н., Вакуленко Л.Г., Гайдебурова Е.А., Данилова В.П., Казаненков В.А., Ким Н.С., Костырева Е.А., Москвин В.И., Ян П.А.** Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 972—1012.
- Неелов А.Н.** Петрохимическая классификация метаморфизованных осадочных и вулканических пород. Л., Наука, 1980, 100 с.
- Розен О.М.** Количественно-минералогические расчеты в петрохимии седиментогенных пород // Бюл. МОИП. Отд. геол., 1981, т. 56, вып. 5, с. 97—104.
- Розен О.М., Нистратов Ю.А.** Определение минерального состава осадочных пород по химическим анализам // Сов. геология, 1984, № 3, с. 76—83.
- Салымский** нефтегазоносный район / Ред. И.И. Нестеров. Тюмень, Изд-во ЗапСибНИГНИ, 1970, 314 с. (Тр. ЗапСибНИГНИ, вып. 41).
- Сараев С.В.** Петрохимический метод в изучении минерального состава пород баженовской свиты Западной Сибири // Геология и геофизика, 1987, (10), с. 33—38.
- Страхов Н.М., Залманзон Э.С.** Распределение аутигенно-минералогических форм железа в осадочных породах и его значение для литологии // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1955, № 1, с. 34—51.
- Условия** формирования и методика поисков залежей нефти в аргиллитах баженовской свиты / Ред. Ф.Г. Гурари. М., Недра, 1988, 200 с.
- Ушатинский И.Н.** Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири // Сов. геология, 1981, № 2, с. 11—22.

Ушатинский И.Н. Основные литотипы и петрофизические свойства пород баженовской свиты // Петрофизическое обеспечение подсчета запасов нефти и газа / Ред. А.Я. Малыхин. Тюмень, Изд-во Зап-СибНИГНИ, 1989, с. 43—51.

Филина С.И., Корж М.В., Зонн М.С. Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. М., Наука, 1984, 36 с.

Флоренский В.П., Бальшина Б.В., Лопачев А.Н. Пересчет химических анализов осадочных горных пород. М., Высш. шк., 1964, 110 с.

Эдер В.Г. Применение кластерного анализа для выделения типов пород баженовской свиты по содержанию основных породообразующих оксидов // Геохимия, 2002, с. 233—238.

Adams R.L., Carr J.P. Regional depositional systems of the Woodbine, Eagle Ford, and Tuscaloosa of the U.S. Gulf Coast // Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions, 2010, v. 60, p. 3—27.

Bohacs K.M., Grabowski G.J.J., Carroll A.R., Mankiewicz P.J., Miskelgerhardt K.J., Schwalbach J.R., Wegner M.B., Simo J.A. Production, destruction, and dilution: the many paths to source-rock development // The deposition of organic-carbon-rich sediments: models, mechanisms, and consequences / Ed. N.B. Harris. SEPM, Special Publication, 2005, v. 82, p. 61—101.

Dawson W.C., Almon W.R. Eagle Ford Shale variability: Sedimentologic influences on source and reservoir character in an unconventional resource unit // Gulf Coast Association of Geological Societies, Transactions, 2010, v. 60, p. 181—190.

Könitzer S.F., Davies S.J., Stephenson M.H., Leng M.J. Depositional controls on mudstone lithofacies in a basinal setting: implications for the delivery of sedimentary organic matter // J. Sediment. Res., 2014, v. 84, p. 198—214.

Lazar O.R., Bohacs K.M., Macquaker J.H.S., Schieber J. Fine-grained rocks in outcrops: classification and description guidelines // Sedimentology and stratigraphy of shales: expressions and correlation of depositional sequences in the Devonian of Tennessee, Kentucky, and Indiana / Eds. J. Schieber, O.R. Lazar, K.M. Bohacs. American Association of Petroleum Geologists, Annual Convention, Field Guide for SEPM Field Trip 10, 2010, p. 3—14.

Lazar O.R., Bohacs K.M., Macquaker J.H.S., Schieber J., Demko T.M. Capturing key attributes of fine-grained sedimentary rocks in outcrops, cores, and thin sections: nomenclature and description guidelines // J. Sediment. Res., 2015, v. 85, p. 230—246.

Tyson R.V. Sedimentary organic matter: organic facies and palynofacies. London, Chapman and Hall, 1995, 615 p.

Tyson R.V., Wilson R.C.L., Downie C. A stratified water column environmental model for the type Kimmeridge Clay // Nature, 1979, v. 227, p. 377—380.

Schermerhorn L.J.G. Terminology of mixed coarse-fine sediments // J. Sediment. Petrol, 1966, v. 36, p. 831—835.

*Рекомендована к печати 16 марта 2016 г.
В.А. Каширцевым*

*Поступила в редакцию
18 февраля 2016 г.*