

УДК 551.8+551.762.31 (571/1)

МАРГИНАЛЬНЫЙ ФИЛЬТР ВОЛЖСКО-РАННЕБЕРРИАССКОГО ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО МОРСКОГО БАСЕЙНА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКОВ

© 2019 г. А. Э. Конторович^{1,2}, Л. М. Бурштейн^{1,2}, Б. Л. Никитенко¹,
С. В. Рыжкова^{1,2,*}, Е. В. Борисов¹, С. В. Ершов¹, Е. А. Костырева¹,
В. А. Конторович^{1,2}, А. Ю. Нехаев¹, Е. В. Пономарева¹,
М. А. Фомин^{1,2}, П. А. Ян^{1,2}

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН
630090 Новосибирск, проспект академика Коптюга, 3

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет (НГУ)
630090 Новосибирск, ул. Пирогова, 1
*E-mail: rzhkovasv@ipgg.sbras.ru

Поступила в редакцию 03.04.2018 г.

Рассмотрен Западно-Сибирский морской бассейн волжского — начала берриасского веков. Показано, что в бассейне действовал маргинальный фильтр (по А. П. Лисицыну). Основная масса терригенных осадков накопилась в пределах восточной окраины моря. В центральную часть бассейна попадало небольшое количество терригенного материала. Акватория Западно-Сибирского моря имела площадь 2 млн 530 тыс. км², акватория восточного маргинального фильтра составляла 535 тыс. км², область открытого эпиконтинентального морского бассейна — 1 млн 994 тыс. км². Глубина волжского моря достигала 500 м. Масса осадков в Западно-Сибирском море к окончанию стадии позднего диагенеза составляла 228,4 трлн т (в пересчете на безводное вещество), из них осадков в зоне восточного маргинального фильтра — 121,7 трлн т. Биологическая продуктивность волжско-берриасского Западно-Сибирского моря была исключительно высокой. Основную массу живого вещества формировали археи, бактерии и простейшие одноклеточные эукариоты — органотенные, а также организмы с кремнистым (радиолярии) и карбонатным скелетом (фораминиферы и др.). Масса пород, сформировавшихся из осадков центральной глубоководной части бассейна на стадии диагенеза, составляла 106,7 трлн т (в пересчете на безводное вещество), в том числе масса органического вещества (ОВ) — 15,8 трлн т; минеральных (кремниевых и карбонатных) остатков организмов — 67,8 трлн т; аллотигенных компонентов, представленных глинистыми минералами и гидроксидами железа — 23,1 трлн т. Анализ состава керогена (полимерлипиды) показывает, что органического вещества в осадки поступало в 15–20 раз больше, чем содержится в породах баженновской свиты в настоящее время, и на стадии раннего диагенеза масса ОВ в осадках (в пересчете на безводное вещество) составляла 235–320 трлн т. Баженовское море представляло собой гигантскую природную экосистему по генерации, переработке и аккумуляции остатков живого вещества. Из накопленной в пределах этой системы массы ОВ на стадии катагенеза были выработаны уникальные ресурсы нефти и газа.

Ключевые слова: волжский век, баженовская свита, баженовский горизонт, маргинальный фильтр, органическое вещество, диагенез, Западная Сибирь.

DOI: 10.31857/S0024-497X20193199-210

Палеогеография и климатические особенности волжского века предопределили феномен баженовской свиты, а вместе с ним и уникальное богатство Западно-Сибирского бассейна нефтью и газом.

Изучение палеогеографии Западной Сибири в поздней юре началось в 50-е годы XX века по инициативе и под руководством В. П. Казаринова; северо-восточные районы этого регио-

на были исследованы В. Н. Саксом и З. З. Ронкиной [Казаринов, 1958; Сакс, Ронкина, 1958]. В последующие годы были опубликованы монографии Т. И. Гуровой и В. П. Казаринова [1962], Ф. Г. Гурари и др., [1963], С. Г. Саркисяна и др. [1967], А. Э. Конторовича и др. [1971, 1975], С. И. Филиной, М. В. Коржа, М. С. Зонн [1984], монографии под редакцией И. С. Грамберга [Палеогеография ..., 1967] и В. Н. Сакса [Голь-

берт и др., 1968]. Палеогеографию этой эпохи в ряде работ обсуждали Ф. Г. Гулари, А. Г. Мухер, В. П. Девятков и др. [Гулари, 1981; Гулари и др., 1983, Мухер и др., 2013; Девятков и др., 2011].

В настоящей работе палеогеография волжского века реконструирована по результатам исследований ИНГГ СО РАН последних лет [Конторович и др., 2013, 2016, 2018; Рыжкова и др., 2018]. Особое внимание уделено маргинальным фильтрам, которые являлись важным элементами общей структуры Западно-Сибирского морского бассейна в волжском веке и ранее не обсуждались.

Понятие “маргинальный фильтр” введено А. П. Лисицыным [Лисицын, 1994, 1974]. Уточним также и некоторые другие понятия, используемые в работе.

Ранний диагенез, согласно [Страхов, 1960], соответствует начальной фазе формирования и эволюции осадков, когда переход трехвалентного аллотигенного железа, поступившего в осадок в форме гидроокислов, в двухвалентное, при участии разлагающегося органического вещества осадков (как восстановителя), только начинается.

Поздний диагенез, согласно [Страхов, 1960], соответствует заключительной фазе формирования и эволюции осадков, когда восстановительный потенциал органического вещества в осадках полностью исчерпан, переход трехвалентного аллотигенного железа, поступившего в осадок в форме гидроокислов, в двухвалентное близок к завершению и биохимические процессы в осадках практически прекращаются (градация ПК₁ бурых углей).

Для диагенеза в целом характерны биохимические процессы превращения вещества осадков, их гравитационное уплотнение и обезвоживание.

Градации катагенеза (ПК, МК, АК) приняты по Н. Б. Вассоевичу, с уточнениями А. Э. Конторовича и С. Г. Неручева [Вассоевич, 1975; Конторович, 1976; Неручев и др., 2017]. Определение градаций катагенеза выполнено по данным об отражательной способности витринита в подстилающих баженовский горизонт отложениях васюганского горизонта с прослоями угля и углистым детритом, по многочисленным элементным анализам керогена, данным пиролиза

(Тmax) и биомаркерным показателям битумоидов – в породах баженовского горизонта.

В конце позднего оксфорда на территории современной Евразии начала развиваться крупная морская трансгрессия. В Западно-Сибирском море в это время сформировался маломощный, выдержанный по площади и очень широко распространенный базальный пласт Ю₁⁰ (барабинская пачка), представленный глауконитовыми глинисто-алевролитово-песчаными породами с многочисленными остатками морской фауны [Гурова, Казаринов, 1962; Саркисян и др., 1967; Шурыгин и др., 2000; Эдер, 2006].

В связи с трансгрессией произошла существенная перестройка палеогеографических областей, и площади морского осадконакопления, в том числе относительно глубоководных зон, значительно расширилась. В середине волжского века позднеюрская трансгрессия на территории современной Сибири достигла максимума, и морская акватория занимала значительную часть Западно-Сибирской геосинеклизы.

В волжском веке процессы механического выветривания на суше не были активными, и области денудации подвергались в основном интенсивному химическому выветриванию [Казаринов, 1958; Гурова, Казаринов, 1962]. В морской бассейн поступали продукты химического выветривания в виде растворов с высокой концентрацией нутриентов. Вследствие этого биологическая продуктивность волжского Западно-Сибирского моря была исключительно высокой [Конторович и др., 1971а, 1974].

Палеогеографическая реконструкция для волжского века, уточненная в результате исследований последних лет, показана на рис. 1. Рельеф областей водосбора, окружавших морской бассейн в волжском веке, был преимущественно равнинным [Казаринов, 1958; Гурова, Казаринов, 1962; Конторович и др., 1971 и др.]. На рис. 1 показано размещение прибрежных акваторий Западно-Сибирского моря в волжском веке, которые следует рассматривать в качестве зон действия маргинальных фильтров. Среди них главной зоной была акватория шириной 200–250 км, протянувшаяся вдоль западного края Восточно-Сибирской суши.

Как показывает анализ данных, полученных в результате настоящего исследования, наиболее сильно расчлененным рельефом характеризова-

лась Восточно-Сибирская суша, которая занимала современные площади Сибирской платформы и Енисейского кряжа. На территориях Урала, Новой Земли и Таймыра располагались архипелаги и острова, в результате сноса с которых в бассейн поступали небольшие объемы терригенного материала. В пределах Казахстана и Алтая в волжском веке также существовала пенебленнизированная суша. Преимущественно равнинный рельеф окружающих водосборов в сочетании с теплым климатом создавали специфические условия морской седиментации, которые предопределили внутреннюю структуру палеобассейна.

В работе [Рыжкова и др., 2018] описаны свиты, входящие в состав баженовского горизонта, и приведена карта современных его толщин. По величине кажущегося удельного электрического сопротивления на северо-восточной и северной окраинах территории распространения баженовской свиты обособлен особый тип ее разреза — низкоомный. Большую часть свиты в этой зоне составляют породы, в которых величина сопротивления не превышает 20 Ом·м. В разрезах собственно баженовской свиты эта величина превышает 200 Ом·м. На приведенной в упомянутой работе карте видно, что мощность баженовского горизонта неодинакова, и в связи с этим рассматриваемая территория отчетливо подразделяется на две части. В восточной, приенисейской части и в примыкающем к ней на северо-востоке Енисей-Хатангском прогибе мощность баженовского горизонта изменяется от 35–40 до 300–350 м, тогда как в центральных и западных районах Западно-Сибирской геосинеклизы она не превышает 35–40 м.

Представляет интерес оценить массу накопившихся в бассейне осадков.

Для оценки массы пород баженовского горизонта необходимы данные об их плотности (P). Статистический анализ показывает, что основным фактором, влияющим на плотность пород баженовского горизонта в их современном состоянии, является содержание ОВ, выраженное в концентрациях $C_{орг}$ (%) (рис. 2) [Конторович, Рогозина, 1967]. Заметного влияния глубины погружения пород (H , м) на их плотность в зоне развития баженовской свиты, не фиксируется. Тем не менее, анализ зависимости величин плотности пород от $C_{орг}$ и H показывает, что

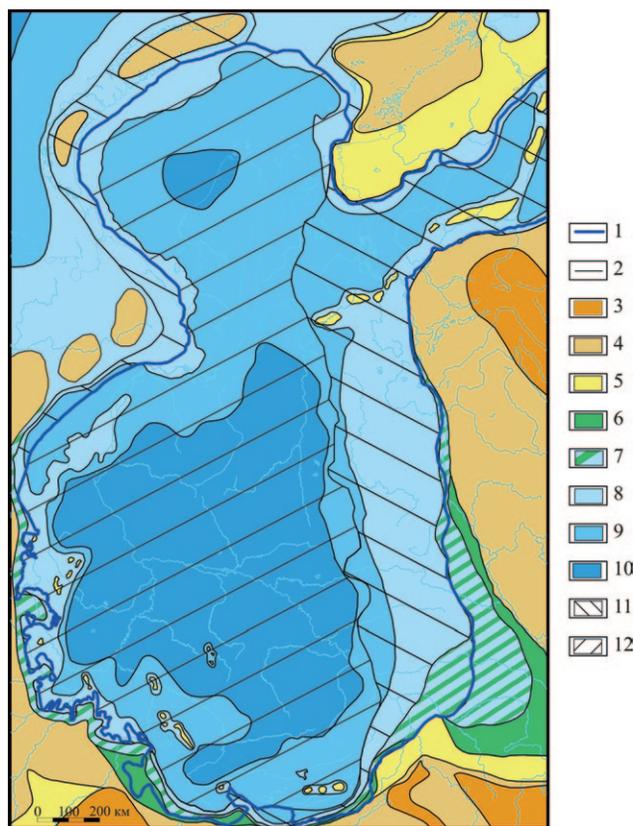


Рис. 1. Палеогеографическая схема Западной Сибири. Волжский век.

1 — современная граница регионального распространения пород баженовского горизонта; 2 — границы палеогеографических элементов; 3 — горы низкие; 4 — суша холмистая; 5–7 — равнины: 5 — денудационная, 6 — аккумулятивная, низменная, 7 — аккумулятивная низменная, периодически заливавшаяся морем; 8–10 — море (глубина): 8 — <100 м, 9 — 100–200 м, 10 — 200–500 м; 11 — акватория развития маргинальных фильтров; 12 — акватория “голодного” морского бассейна с дефицитом поступающего терригенного обломочного материала.

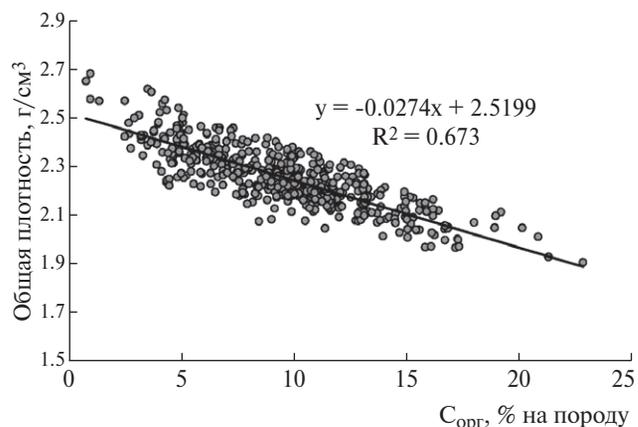


Рис. 2. Зависимость величин плотности пород баженовской свиты от содержания в них органического углерода.

статистически значимая зависимость плотности от глубины погружения все-таки существует, однако выражена она значительно слабее, чем зависимость от содержания органического углерода:

$$P = 2.27 - 0.0276C_{\text{орг}} + 0.00009H.$$

Карта распределения плотности пород баженовского горизонта, построенная на основе аналитических и расчетных данных с использованием структурной карты кровли юрского комплекса Западно-Сибирской геосинеклизы, построенной в ИНГГ СО РАН и соответствующей кровле баженовского горизонта, и карты распределения содержаний $C_{\text{орг}}$ в баженовской свите [Конторович и др., 2018], показана на рис. 3.

На рис. 4 показана карта современных масс пород баженовского горизонта. Поскольку масса пород включает и массу органического вещества, которое при катагенезе претерпевает серьезные превращения за счет образования углеводоро-

дов и неуглеводородных летучих соединений (CO_2 , H_2S , NH_3) и теряет в массе, нами были реконструированы исходные массы пород баженовского горизонта, существовавшие на стадии позднего диагенеза и построена соответствующая карта. Из общей массы пород баженовского горизонта была выделена масса содержащегося в них ОВ на стадии позднего диагенеза, а также масса минеральных компонентов, и построены карты изменения этих параметров на площади распространения баженовского горизонта (рис. 5, рис. 6).

На рисунках 5 и 6 видно, что основная масса осадков баженовского горизонта и, в частности, минеральной компоненты накапливалась в восточной части Западно-Сибирского моря волжского века, а в центральную часть палеобассейна обломочный материал попадал в небольшом количестве. Распределение масс морских осадков в баженовское время полностью соответствует реконструкциям равнинного рельефа на суше,

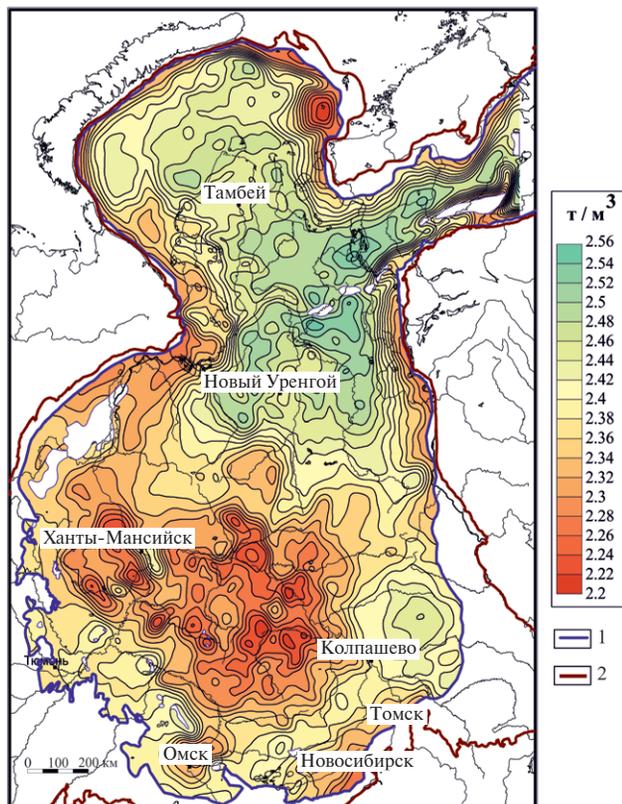


Рис. 3. Карта распределения плотности пород баженовского горизонта. Современные границы регионального распространения пород: 1 — баженовского горизонта, 2 — мезозойско-кайнозойского осадочного чехла.

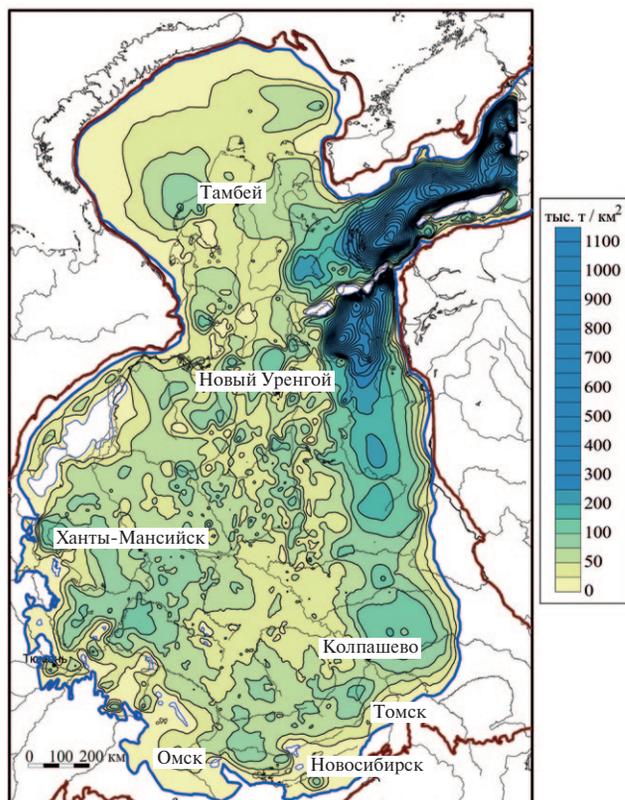


Рис. 4. Карта современных масс пород баженовского горизонта (массы пересчитаны на безводное вещество).

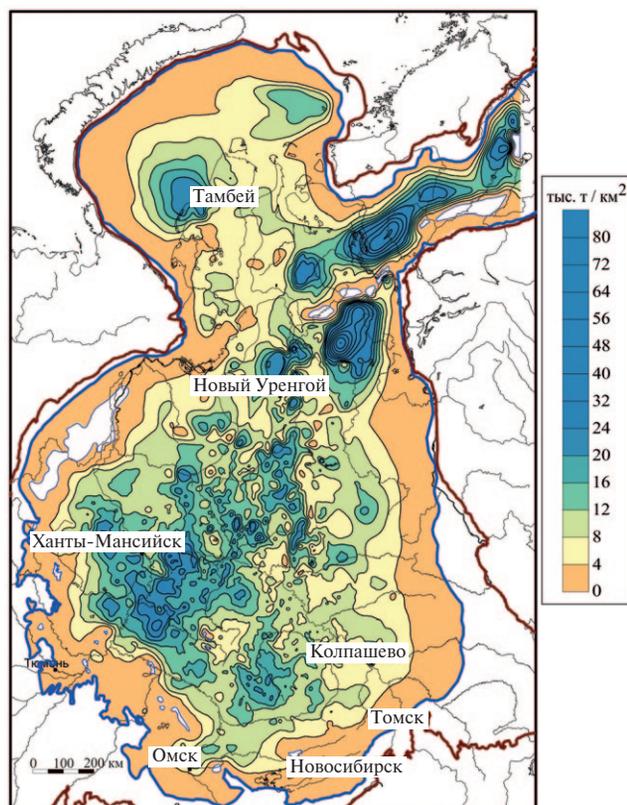


Рис. 5. Карта масс органического вещества, содержащегося в осадках баженовского горизонта на стадии позднего диагенеза (массы пересчитаны на безводное вещество).

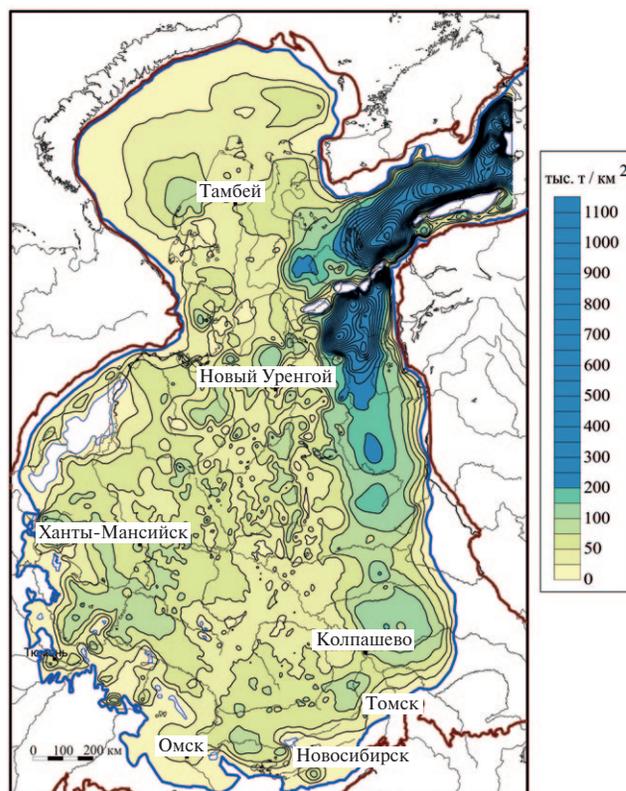


Рис. 6. Карта масс минеральных компонентов, содержащихся в осадках баженовского горизонта на стадии позднего диагенеза (массы пересчитаны на безводное вещество).

окужавшей Западно-Сибирский морской бассейн в волжском веке, и показывает, что концентрация основной массы осадочного материала в окраинных, маргинальных частях морских бассейнов происходила и в геологическом прошлом. Это обстоятельство является убедительным доказательством теории маргинальных фильтров А. П. Лисицына [Лисицын, 1974, 1994; Лисицын и др., 1977].

Согласно А. П. Лисицыну [1994], маргинальный фильтр представляет собой узкий пояс, протягивающийся на сотни километров вдоль берегов континентов в пределах которого происходит смешивание речных и морских вод. Этот пояс расширяется вблизи устьев крупных рек и является наиболее широким в гумидных климатических зонах со значительным речным стоком, тогда как в аридных зонах он заметно сужается.

В зонах существования маргинальных фильтров речная вода, поступающая в морской бассейн, подвергается гравитационной дифферен-

циации, воздействию сорбентов, биофильтрации и ряда других специфических процессов. Здесь происходит удаление наиболее значительной части взвешенных в воде веществ, а также многих металлов, присутствующих не только во взвешенной, но и в растворенных формах, террагенного органического вещества и др.

Как видим, приведенные данные о значительных мощностях и массах осадочных пород, сформировавшихся на восточных окраинах Западно-Сибирского морского бассейна в волжском веке, свидетельствуют о возможном существовании здесь зоны маргинального фильтра, определение которой было дано А. П. Лисицыным. Предложенный А. П. Лисицыным механизм формирования маргинального фильтра, в случае Западно-Сибирского бассейна баженовского времени, подтверждается и в деталях. Ранее было отмечено, что в конце поздней юры на юге современной Западной Сибири существовал семиаридный климат, тогда как в се-

верной части этой территории — гумидный. Вследствие подобной климатической зональности, вынос терригенного материала с Восточно-Сибирской суши в северо-восточную часть волжского морского бассейна был значительно более интенсивным, по сравнению с его южной и юго-западной частями (см. рис. 5, рис. 6). На северо-востоке в наиболее глубоких депрессионных зонах примерно за 7 млн лет накопилось от 500 до 1000 т морских осадков на 1 км², тогда как вдоль южной части Восточно-Сибирской суши — 75–100 т/км². В связи с этим можно предполагать, что в северо-западной части Восточно-Сибирской суши в волжском веке существовали мощные речные системы, которые создавали дельты и выносили в Западно-Сибирское море около 13–14 млн т взвеси в год, при относительно небольших объемах материала твердого донного стока.

Маргинальные фильтры вдоль южного и западного побережий волжского Западно-Сибирского моря практически отсутствовали, поскольку особенности рельефа и климата на прилегающей суше не способствовали значительной денудации водосборов. Таким образом, из изложенного следует, что режим морского осадконакопления в южной и западной частях бассейна, прилегающих к участкам Палеоалтайской и Палеоказахстанской суши, а также к архипелагу Палеоурала, был существенно иной. В течение волжского века здесь накопилось осадков 25–75 тыс. т/км² (редко до 75–100 тыс. т/км²). Признаки поступления в бассейн терригенного осадочного материала с этих побережий едва улавливаются, а ширина маргинальных фильтров здесь не превышала 10–25 км. Общая протяженность акваторий таких “эмбриональных” маргинальных фильтров составляла около 3500 км, а площадь — около 175 тыс. км².

Таблица 1. Массы осадков и их главных компонент, накопившихся в разных частях акватории Западно-Сибирского моря в волжском веке, в трлн т

Осадки и их главные компоненты	Бассейн в целом	Зоны маргинальных фильтров			Вне зон маргинальных фильтров					
		всего	в том числе		всего	в том числе				
			1-й маргинальный фильтр	2-й маргинальный фильтр		а) баженовская свита	б) низкоомная баженовская свита*	в) ниже-тулейская подсвита	сумма (а, б, в)	прочие территории
Площади распространения осадков, млн км ²	2.53	0.535	0.194	0.341	1.994	0.784	0.337	0.152	1.273	0.721
Масса осадков (поздний диагенез)**	228.4	121.7	65.7	56.0	106.7	51.4	17.8	9.0	78.2	28.5
в т.ч.										
минеральные компоненты:	207.1	116.1	62.9	53.2	90.9	42.1	15.1	7.6	64.8	26.1
биогенные	70.1	2.4	1.3	1.1	67.8	31.8	11.4	5.7	48.9	18.8
аллотигенные	136.9	113.7	61.6	52.1	23.1	10.3	3.7	1.9	15.9	7.3
органическое вещество:	21.3	5.5	2.7	2.8	15.8	9.4	2.7	1.3	13.4	2.4
автохтонное	16.6	0.8	0.404	0.42	15.8	9.4	2.7	1.3	13.4	2.4
привнесенное с суши	4.7	4.7	2.295	2.38	0	0	0	0	0	0

Примечание. * — по [Рыжкова и др., 2018], пояснение дано в тексте; ** — массы осадков и их главных компонентов пересчитаны на безводное вещество.

Характерные особенности зон маргинальных фильтров Западно-Сибирского моря ниже рассматриваются на примере фильтра, существовавшего вдоль границы с Восточно-Сибирской сушей.

Согласно существующим палеогеографическим реконструкциям, площадь Западно-Сибирского морского бассейна в волжском веке составляла 2 млн 530 тыс. км², из них на зону восточного маргинального фильтра приходилось 535 тыс. км², а на область открытого эпиконтинентального морского бассейна — 1 млн 994 тыс. км².

Масса осадков Западно-Сибирского моря на завершающих этапах диагенеза (пересчитанная на безводное вещество) составляла 228.4 трлн т, из них масса осадков в области восточного маргинального фильтра — 121.7 трлн т и на остальной акватории морского бассейна — 106.7 трлн т (табл. 1). Таким образом, в пределах акватории восточного маргинального фильтра, на долю ко-

торой приходилось всего 21.1% общей площади бассейна, накопилось около 53.3% всех осадков, в то время как на остальной акватории, площадь которой в 3.7 раза превышала зону восточного маргинального фильтра — только 46.7% (табл. 2).

Западно-Сибирский морской бассейн в баженовское время характеризовался высокими темпами биогенной седиментации. Основную массу живого вещества, образованную углеродом (С), водородом (Н), кислородом (О) и азотом (N), в баженовском море составляли бактерии, археи, простейшие эукариоты. В состав биомассы этих организмов также входили фосфор (Р), магний (Mg), сера (S) и др. элементы.

Эти организмы создали основную массу органического вещества, фоссилизованного в породах баженовского горизонта. В баженовском море также обитали кремнийстроющие (радиолярии) и карбонатстроющие (фораминиферы и др.) эукариоты [Никитенко, 2009]. В работах

Таблица 2. Баланс масс осадков и их главных компонент, накопившихся в разных частях акватории Западно-Сибирского моря в волжском веке, в %

Осадки и их главные компоненты	Бассейн в целом	Зоны маргинальных фильтров			Вне зон маргинальных фильтров					
		всего	в том числе		всего	в том числе				
			1-й маргинальный фильтр	2-й маргинальный фильтр		а) баженовская свита	б) низкоомная баженовская свита*	в) ниже-тулейская подсвита	сумма (а, б, в)	прочие территории
Площади распространения осадков, млн км ²	100	21.2	7.7	13.5	78.8	31.0	13.3	6.0	50.3	28.5
Масса осадков (поздний диагенез)**	100	53.3	28.8	24.5	46.7	22.5	7.8	3.9	34.2	12.,5
в т.ч.										
минеральные компоненты:	90.7	50.8	27.5	23.3	39.8	18.4	6.6	3.3	28.3	11.4
биогенные	30.7	1.1	0.6	0.5	29.7	13.9	5.0	2.5	21.4	8.2
аллотигенные	59.9	49.8	27.0	22.8	10.1	4.5	1.6	0.8	6.9	3.2
органическое вещество:	9.3	2.4	1.2	1.2	6.9	4.1	1.2	0.6	5.9	1.1
автохтонное	7.3	0.4	0.2	0.2	6.9	4.1	1.2	0.6	5.9	1.1
привнесенное с суши	2.0	2.0	1.0	1.0	0	0	0	0	0	0

Примечание. * — по [Рыжкова и др., 2018], пояснение дано в тексте; ** — массы осадков и их главных компонентов пересчитаны на безводное вещество.

[Конторович и др., 1975, 2016; Ушатинский, 1981; Zanin et al., 2008; Балушкина и др., 2013; Эдер и др., 2017 и др.] были подробно рассмотрены литологические особенности и органическая геохимия пород баженовской свиты и нижней подсвиты тутлеймской свиты.

Кремнийсодержащие породы (силициты, микститы¹), карбонатные породы и породы с высоким содержанием керогена наиболее широко распространены в составе баженовской свиты и являются, в основном, продуктами деятельности живого вещества в баженовском море. Представляло интерес оценить массы главных биогенных породообразующих компонентов в осадках баженовского моря, находящихся на стадии позднего диагенеза. С этой целью из массы исходного осадка (пересчитанной на безводное вещество) были выделены: масса органического вещества (керогена) и масса минеральных компонентов. В составе последней, по литологическим данным, в свою очередь, были выделены: масса аллотигенных и масса автохтонных биогенных минеральных компонентов, а в составе массы органического вещества — масса автохтонного (аквагенного) и масса привнесенного с суши (террагенного²) ОВ (см. табл. 1, 2). Наши оценки показывают, что масса минеральных аллотигенных компонентов в осадках баженовского бассейна на стадии позднего диагенеза составляла 136.9 трлн т, из них в зоне восточного маргинального фильтра — 113.7 трлн т, на акватории открытого, относительно глубоководного морского бассейна — 23.1 трлн т (см. табл. 1). Таким образом, в пределах зоны восточного маргинального фильтра к окончанию стадии позднего диагенеза было накоплено 83.1% поступившего с суши терригенного обломочного материала, в то время как в глубоководной части акватории — всего 16.9% (см. табл. 2).

Биогенные минеральные компоненты распределялись в осадках бассейна противоположным образом. Так, в открытой, глубоководной части бассейна накопилось 67.8 трлн т кремнистого и карбонатного вещества (96.7%), а в зоне маргинального фильтра — только 2.4 трлн т (3.3%) (см. табл. 1, 2). Масса автохтонного (аквагенного) ОВ на стадии позднего диагене-

за составляла в осадках Западно-Сибирского моря 16.6 трлн т, из них в зоне маргинального фильтра — только 0.8 трлн т. Это означает, что в осадках открытой, относительно глубоководной части баженовского моря отложилось 95.2% органического вещества, генерированного в этом бассейне. В зоне восточного маргинального фильтра Западно-Сибирского моря накопилось всего 4.8% автохтонного аквагенного ОВ. В осадках этой зоны встречены таксономически разнообразные, но количественно более бедные ассоциации планктона, по сравнению с осадками центральной, глубоководной части бассейна. Отметим также, что все привнесенное в бассейн террагенное органическое вещество отлагалось в пределах акватории маргинального фильтра.

Рассмотрим количественные характеристики биологической продуктивности баженовского моря. Масса осадков (пересчитанная на безводное вещество) во внутренней глубоководной части бассейна к началу катагенеза составляла 106.7 трлн т, из них масса ОВ — 15.8 трлн т; минеральные остатки кремниевых и карбонатных организмов — 67.8 трлн т; аллотигенные компоненты, представленные глинистыми минералами и гидроксидами железа — 23.1 трлн т. Следовательно, что в составе осадков, накапливавшихся в относительно глубоководной части Западно-Сибирского моря, поступающий с окружающей суши терригенный обломочный материал составлял всего 21.6%.

В тоже время, следует учитывать, что в центральной (баженовская свита, нижнетутлеймская подсвита) и в приуральской (верхнеданиловская, нижнемулымьинская подсвиты) частях баженовского моря фоссилизированное ОВ представлено в основном, полимерлипидным комплексом. Это свидетельствует о том, что основные компоненты живого вещества — белки, углеводы, нуклеиновые кислоты подверглись относительно слабой деструкции (диссимиляции), пребывая в морской воде, и более существенной трансформации — после захоронения в осадки. Как правило, в живом веществе бактерий, архей и простейших эукариот липиды составляют от 2–4 до 8–10%. Если допустить,

¹ Определение термина “микститы” применительно к породам баженовской свиты (см. [Конторович и др., 2016]).

² Определение термина “террагенный” (см. [Конторович, 1976]).

что исходное живое вещество содержало 5% липидов, которые полностью сохранились в составе керогена, можно прийти к выводу о том, что масса поступавшего в первоначальные осадки органического вещества была в 15–20 раз больше фоссилизированного, и на стадии раннего диагенеза (в пересчете на безводное ОВ) составляла 235–320 трлн т.

Главной особенностью центральной части Западно-Сибирского моря было резкое преобладание биогенного осадконакопления над поступлением терригенного обломочного материала. Не менее важно также и то, что деструкция значительной массы созданного в бассейне живого вещества на стадиях седиментогенеза, диагенеза и катагенеза приводила к высвобождению огромных объемов углекислого газа, сероводорода, аммиака и воды, что формировало уникальную, специфическую среду, в которой происходили диагенетические и катагенетические преобразования осадков и пород. Подобная особенность баженовского бассейна часто не учитывается при изучении систем “вода–порода” и палео-геологических реконструкциях [Шварцев, Новиков, 2004; Novikov, 2017 и др.].

Также необходимо отметить высокую степень обогащения баженовской свиты ураном и торием, что создавало предпосылки для развития в ней процессов радиолитиза [Конторович и др., 1972; Харин, 1982].

Все вышесказанное позволяет разделить Западно-Сибирское море волжского века на две области: прилегающую к Восточно-Сибирской суше зону маргинального фильтра и более значительную по площади относительно глубоководную часть морского бассейна, с дефицитом терригенного материала, поступающего из областей размыва на континенте (см. рис. 1).

Приведенные в работе новые материалы позволяют уточнить модель строения акватории Западно-Сибирского моря в волжском веке.

Для этого суммируем важнейшие для палеогеографических реконструкций результаты, полученные в последние годы.

1. На завершающей стадии диагенеза концентрация органического вещества в слабо преобразованных осадках южной и центральной, частей морского палеобассейна, достигала 30–40%. Область максимальных концентра-

ций ОВ в осадках располагалась в южной половине бассейна и была смещена к Палеоуралу; она занимала территории значительной части Мансийской синеклизы (Тундринскую и Юганскую мегавпадины), Средне-Тобольского мегапрогиба, юго-западного склона Нижневартовского свода и Колтогорско-Нурольского желоба.

2. В этой же части акватории накапливалась основная доля биогенных минеральных компонентов (скелетные остатки радиолярий, раковины фораминифер) и продукты их перекристаллизации — силициты, карбонаты, микститы с низким содержанием глинистых минералов.
3. Геохимические индикаторы, установленные в составе керогена, свидетельствуют о том, что в баженовском море на значительной площади накапливалось аквагенное, полимерлипидное, обогащенное водородом (7–9%), органическое вещество, с характерным облегченным изотопным составом углерода [Конторович и др., 1984, 1985]. В восточной, приближенной к берегу зоне бассейна наряду с аквагенным накапливалось террагенное ОВ.
4. Кероген в породах баженовской свиты, формировавшейся в центральной глубоководной части Западно-Сибирского моря, наиболее высоко обогащен серой. В этих же породах установлены максимальные концентрации железа и пирита.
5. Состав углеводородов в биомаркерах (н. алканы, изо-алканы, стераны, тритерпаны, ароматические углеводороды, бензтиофены и др.) однозначно указывает на их генетическую связь с липидами и липоидами бактерий, архей и простейших эукариотов, обитавших в толще воды и осадках морского бассейна [Конторович и др., 1991; Peters et al., 1993].
6. В породах из зоны маргинального фильтра, прилегающей к Восточно-Сибирской суше, кероген обеднен водородом (3–5%). По сравнению с керогеном отложений глубоководной части Западно-Сибирского моря, он заметно обогащен азотом. Это позволяет предполагать, что кероген в породах этой зоны формировался, по крайней мере отчасти, в результате реакций меланоидинообразования, и в его состав, помимо полимерлипидных струк-

турных блоков, входили продукты гидролиза углеводов с аминокислотами, пептидами и белками.

Приведенные данные дают основание считать, что наиболее глубоководная (более 500 м) часть Западно-Сибирского морского бассейна в волжском веке располагалась в его южной половине и была смещена к западу, в направлении Палеоурала (см. рис. 1). В осадках этой части палеобассейна накапливалась основная масса углеродистого органического вещества архей, бактерий, простейших органостенных, кремниевых и карбонатных эукариотов (см. рис. 5).

Баженовское море и его осадки в течение 7 млн лет представляли собой гигантскую природную экосистему, в которой происходила генерация, переработка (диссимилиация) и аккумуляция остатков живого вещества. Из накопленной в пределах этой системы массы ОВ на стадии катагенеза были выработаны уникальные ресурсы нефти и газа.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках программы ФНИ СО РАН (IX.131.1.) “Проблемы региональной геологии, седиментологии, органической геохимии и нефтегазоносности осадочных бассейнов Сибири и акватории Северного Ледовитого океана, научные основы методологии экологического мониторинга на объектах нефтегазового комплекса в условиях Арктики”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Балушкина Н. С., Калмыков Г. А., Кирюхина Т. А. и др.* Закономерности строения баженовского горизонта и верхов абалакской свиты в связи с перспективами добычи нефти // Геология нефти и газа. 2013. № 3. С. 48–61.
- Вассоевич Н. Б.* Происхождение нефти // Вестник МГУ. Сер. 5. Геология. 1975. С. 3–23.
- Гольберт А. В., Маркова Л. Г., Полякова И. Д. и др.* Палеоландшафты Западной Сибири в юре, мелу и палеогене / Под ред. В. Н. Сакса. М.: Наука, 1968. 150 с.
- Гурари Ф. Г.* Доманикиты и их нефтегазоносность // Сов. геология. 1981. № 11. С. 3–12.
- Гурари Ф. Г., Гольберт А. В., Захаров В. А.* Новые данные об условиях образования баженовской свиты // Новые данные по стратиграфии и палеогеографии нефтегазоносных бассейнов Сибири. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1983. С. 5–17.
- Гурари Ф. Г., Казаринов В. П., Миронов Ю. К. и др.* Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирской низменности — новой нефтяной базы СССР. Новосибирск: Изд-во СО АН СССР, 1963. 200 с.
- Гурова Т. И., Казаринов В. П.* Литология и палеогеография Западно-Сибирской низменности в связи с нефтегазоносностью. М.: Гостоптехиздат, 1962. 296 с.
- Девятов В. П., Никитенко Б. Л., Шурыгин Б. Н.* Палеогеография Сибири в юрском периоде на этапах основных перестроек // Новости палеонтологии и стратиграфии. 2011. Вып. 16–17. С. 87–101.
- Казаринов В. П.* Мезозойские и кайнозойские отложения Западной Сибири. М.: Гостоптехиздат, 1958. 324 с.
- Конторович А. Э.* Геохимические методы количественного прогноза нефтегазоносности. М.: Недра, 1976. 248 с.
- Конторович А. Э., Богородская Л. И., Гольшев С. И.* Закономерности фракционирования изотопов углерода в седикахитах // Геология и геофизика. 1984. № 9. С. 34–42.
- Конторович А. Э., Богородская Л. И., Гольшев С. И.* Распределение стабильных изотопов углерода в седикахитах различной генетической природы // Геология и геофизика. 1985. № 7. С. 3–11.
- Конторович А. Э., Конторович В. А., Рыжкова С. В. и др.* Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна в юрском периоде // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 8. С. 972–1012.
- Конторович А. Э., Нестеров И. И., Салманов Ф. К.* Геология нефти и газа Западной Сибири. М.: Недра, 1975. 679 с.
- Конторович А. Э., Петерс К. Е., Молдован Дж. М. и др.* Углеводороды-биомаркеры в нефтях Среднего Приобья (Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 1991. № 10. С. 3–34.
- Конторович А. Э., Полякова И. Д., Стасова О. Ф. и др.* Органическая геохимия мезозойских нефтегазоносных отложений Сибири. М.: Недра, 1974. 189 с.
- Конторович А. Э., Полякова И. Д., Трушков П. А. и др.* Геохимия мезозойских отложений нефтегазоносных бассейнов Сибири // Тр. СНИИГГиМС. Вып. 118. Новосибирск, 1971 а. 76 с.
- Конторович А. Э., Полякова И. Д., Фомичев А. С.* Закономерности накопления органического вещества в древних осадочных толщах (на примере мезозойских отложений Сибири) // Литология и полез. ископаемые. 1971 б. № 6. С. 16–27.
- Конторович А. Э., Пономарева Е. В., Бурштейн Л. М. и др.* Распределение органического вещества в породах баженовского горизонта // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 3. С. 357–371.
- Конторович А. Э., Рогозина Е. А.* Масштабы образования углеводородных газов в мезозойских отложениях

- Западно-Сибирской низменности // Геология и нефтегазоносность юго-востока Западно-Сибирской плиты // Тр. СНИИГГиМС. Вып. 65. Новосибирск, 1967. С. 13–25.
- Конторович А. Э., Rogozina E. A., Трофимук А. А.* Первичная миграция углеводородов и диагностика нефтегазопроизводящих толщ // Закономерности размещения и условия формирования залежей нефти и газа в мезозойских отложениях Западно-Сибирской низменности // Тр. СНИИГГиМС. Вып. 131. М.: Недра, 1972. С. 227–260.
- Конторович А. Э., Ян П. А., Замирайлова А. Г. и др.* Классификация пород баженовской свиты // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 11. С. 2034–2043.
- Лисицын А. П.* Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 25. С. 735–743.
- Лисицын А. П.* Осадкообразование в океанах. Количественное распределение осадочного материала / Под ред. П. Л. Безрукова. М.: Наука, 1974. 438 с.
- Лисицын А. П., Емельянов Е. М., Ельцина Г. Н.* Геохимия осадков Атлантического океана. Карбонаты и кремнезем / Под ред. Ю. А. Богданова. М.: Наука, 1977. 256 с.
- Мухер А. Г., Кулагина С. Ф., Пахомова Е. А.* Районирование баженовского горизонта по типам разреза в пределах Краснотенинско-Фроловской зоны (Западная Сибирь) // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории // Материалы VII Всеросс. литологического совещания (Новосибирск, 28–31 октября 2013 г.). Т. 1. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. С. 297–301.
- Неручев С. Г., Вассович Н. Б., Лопатин Н. В.* О шкале катагенеза в связи с нефтегазообразованием // Избранные труды Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН. Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2017. С. 335–347.
- Никитенко Б. Л.* Стратиграфия, палеобиогеография и биофашии юры Сибири по микрофауне (фораминиферы и остракоды). Новосибирск: Параллель, 2009. 680 с.
- Палеогеография центральной части Советской Арктики / Под ред. И. С. Грамберга // Тр. НИИГА. Т. 150. Л.: Недра, 1967. 299 с.
- Рыжкова С. В., Буриштейн Л. М., Еришов С. В. и др.* Баженовский горизонт Западной Сибири: строение, корреляция и толщины // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 7. С. 1053–1074.
- Сакс В. Н., Ронкина З. З.* Палеогеография Хатангской впадины и прилегающих территорий на протяжении юрского и мелового периодов // Труды Института геологии Арктики. Т. 85. Вып. 9. Л.: Недра, 1958. С. 70–89.
- Саркисян С. Г., Корж М. В., Комардинкина Г. Н. и др.* Западная Сибирь в юрском периоде / Под ред. Т. И. Гуровой. М.: Наука, 1967. 176 с.
- Страхов Н. М.* Основы теории литогенеза: Т. 1. Типы литогенеза и их размещение на поверхности Земли / Ред. Г. И. Бушинский (ГИН РАН). М.: Изд-во АН СССР, 1960. 574 с.
- Ушатинский И. Н.* Литология и перспективы нефтеносности юрско-неокомских битуминозных отложений Западной Сибири // Сов. геология. 1981. № 2. С. 11–22.
- Филина С. И., Корж М. В., Зонн М. С.* Палеогеография и нефтеносность баженовской свиты Западной Сибири. М.: Наука, 1984. 35 с.
- Харин В. С.* Роль естественной радиоактивности пород в процессах преобразования РОВ // Геология нефти и газа. 1982. № 05. С. 42–45.
- Шварцев С. Л., Новиков Д. А.* Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных отложений (на примере Надым-Тазовского междуречья, Западная Сибирь) // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 8. С. 1008–1020.
- Шурыгин Б. Н., Никитенко Б. Л., Девятков В. П. и др.* Стратиграфия нефтегазоносных районов Сибири. Юрская система. Новосибирск: Изд-во СО РАН, Филиал “ГЕО”, 2000. 480 с.
- Эдер В. Г.* Некоторые типы разрезов верхнеюрских баженовской и георгиевской свит Обь-Иртышского междуречья // Геология и геофизика. 2006. Т. 46. № 6. С. 746–754.
- Эдер В. Г., Замирайлова А. Г., Ян П. А.* Закономерности распространения кремнистых пород и “кокколитовой” пачки баженовской свиты // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3–4. С. 511–521.
- Novikov D. A.* Hydrogeochemistry of the Arctic areas of Siberian petroleum basins // Petroleum Exploration and Development. 2017. V. 44 (5). P. 780–788.
- Peters K. E., Kontorovich A. E., Moldowan J. M. et al.* Geochemistry of Selected Oils and Rocks from the Central Portion of the West Siberian Basin, Russia // AAPG Bull. 1993. V. 77. № 5. P. 863–887.
- Zanin Yu. N., Eder V. G., Zamirailova A. G.* Composition and formation environments of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous black shale Bazhenov Formation (the central part of the West Siberian Basin) // Mar. Pet. Geol. 2008. V. 25. P. 289–306.

VOLGIAN–EARLY BERRIASIAN MARGINAL FILTER IN THE WEST SIBERIAN MARINE BASIN AND ITS INFLUENCE ON SEDIMENT DISTRIBUTION

A. E. Kontorovich^{1,2}, L. M. Burshtein^{1,2}, B. L. Nikitenko¹,
S. V. Ryzhkova^{1,2, *}, E. V. Borisov¹, S. V. Ershov¹, E. A. Kostyreva¹,
V. A. Konotorovich^{1,2}, A. Yu. Nekhaev¹, E. V. Ponomareva¹,
M. A. Fomin^{1,2}, P. A. Yan^{1,2}

¹ Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,
pr. akademika Koptyuga 3, Novosibirsk, 630090 Russia

² Novosibirsk National Research Institute State University (NSU), Pirogov str. 1, Novosibirsk, 630090 Russia

*E-mail: rzhkovasv@ipgg.sbras.ru

Received April 03, 2018

The West Siberian marine basin of the Volgian–initial Berriasian ages is described. It is shown that a marginal filter (according to A. P. Lisitsyn) functioned in the basin. The main mass of terrigenous sediments was deposited within the eastern margin of the sea. The central part of the basin only received a small amount of the terrigenous material. Water area of the West Siberian Sea was 2 mln 530 thou km²; eastern marginal filter, 535 thou km²; and open epicontinental marine basin, 1 mln 994 thou km². Depth of the Volgian Sea was 500 m. Mass of sediments in the West Siberian Sea by the end of late diagenesis was 228.4 Tt (recalculated to the anhydrous material), with sediments in the eastern marginal filter accounting for 121.7 Tt. Bioproductivity of the Volgian–Berriasian West Siberian Sea was extremely high. The mass of living matter was composed of archaea, bacteria, and protozoan unicellular eucaryotes (organic-walled), as well as organisms with the siliceous (radiolarians) and carbonate skeleton (foraminifers and others). The rock mass formed from sediments of the central deep-water part of the basin at the stage of diagenesis was 106.7 Tt (recalculated to the anhydrous material), including the mass of organic matter (OM) accounting for 15.8 Tt; mineral (siliceous and carbonate) relicts of organisms, 67.8 Tt; and allothigenic components (clay minerals and iron hydroxides), 23.1 Tt. Analysis of the composition of kerogen (polymerlipids) revealed that the amount of OM transported to sediments was 15–20 times higher than the present-day amount in rocks of the Bazhenov Formation. At the stage of early diagenesis, the OM mass in sediments was as high as 235–320 Tt (recalculated to the anhydrous material). The Bazhenov Sea represented a huge natural ecosystem favorable for the generation, reworking, and accumulation of living matter relicts. At the stage of catagenesis, unique oil-and-gas resources were generated from OM masses deposited in this system.

Keywords: *volgian, bazhenov formation, bazhenov horizon, marginal filter, organic matter, diagenesis, West Siberia.*

DOI: 10.31857/S0024-497X20193199-210