

УДК 622.276

## ИССЛЕДОВАНИЕ СЛАНЦЕВЫХ ПОРОД И ПРИРОДЫ СЛАНЦЕВОЙ НЕФТЕНОСНОСТИ БАЖЕНОВСКОЙ СВИТЫ И ФОРМАЦИИ БАККЕН

### THE STUDY OF THE SHALE SORTS AND THE NATURES SHALE OIL BEARING CAPACITY OF THE BAZHENOV SUITE AND FORMATION BAKKEN

#### **Арутюнов Татос Владимирович**

аспирант кафедры Нефтегазового дела  
имени профессора Г.Т. Вартумяна,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
arutyunov-tatos@mail.ru

#### **Савенок Ольга Вадимовна**

доктор технических наук, доцент,  
доцент кафедры Нефтегазового дела  
имени профессора Г.Т. Вартумяна,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
olgasavenok@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассмотрены геолого-петрографические и литологические характеристики сланцевых горных пород баженовской свиты и формации Баккен, а также вопросы природы их нефтеносности. Показано, что в результате усилий отечественных учёных разработаны научные принципы проблемы природы сланцевой нефтеносности на примере баженовской свиты, что создаёт определённые предпосылки для технологических решений. Показано также, что по формации Баккен как высокоотработанному эксплуатационному объекту накоплен обширный фактический материал, позволяющий эффективно совершенствовать технологии сланцевой добычи и оценивать достоверность научных гипотез и модельных представлений.

**Ключевые слова:** сланцевые породы, сланцевая нефтеносность, параметры литотипов, генерационные возможности, нефтегенерационный потенциал, пиролитическая характеристика, органическое вещество.

#### **Arutyunov Tatos Vladimirovich**

Postgraduate student of pulp oil  
and gas deal of the name of  
the professor G.T. Vartumyan,  
Kuban State University of Technology  
arutyunov-tatos@mail.ru

#### **Savenok Olga Vadimovna**

Doctor of Technical Science,  
Assistant Professor of pulp oil  
and gas deal of the name of  
the professor G.T. Vartumyan,  
Kuban State University of Technology  
olgasavenok@mail.ru

**Annotation.** In article are considered geology-petrographic and lithological of the feature of the shale mountain sorts bazhenov suite and formation Bakken, as well as questions of the nature their oil bearing capacity. It is shown that as a result effort domestic scientist is designed scientific principles of the problem of the nature shale oil bearing capacity on example bazhenov suite that creates the certain premises for technological decisions. It is shown also that on formation Bakken as high-exhaust operating object is accumulated extensive actual material, allowing effectively improve technologies of the shale mining and value validity of the scientific hypothesizes and model presentations.

**Keywords:** shale sorts, shale oil bearing capacity, parameters of lithotypes, generational possibility, oil-generational potential, pyrolytic feature, organic material.

Как было показано ранее [1], уникальность сланцевых залежей состоит в том, что формирование коллекторов (пустотного пространства, микроструктуры) и органического вещества происходит одновременно в результате сложных процессов физико-химической, химической, химико-биологической и иной природы.

В развитии этого положения рассмотрим геолого-петрографические и литологические характеристики сланцевых горных пород баженовской свиты и формации Баккен (Bakken), а также вопросы природы их нефтеносности.

#### **Баженовская свита**

Исследованию геолого-петрографических и литологических характеристик сланцевых горных пород баженовской свиты посвящено большое число работ [2–8].

В [2] показано, что до недавнего времени отложения баженовской свиты соотносились с тремя седиментационными системами:

- 1) «битуминозные аргиллиты» как комплекс пород свиты (кроме карбонатных и глинисто-алеврито-песчаных аномальных);
- 2) глинисто-алеврито-песчаные породы аномальных разрезов;
- 3) собственно карбонатные породы.

Изученные в [2] породы свиты по химическому составу подразделяются на четыре группы:

- низкоглинистые высококремнистые;
- высокоглинистые низкокремнистые;
- карбонаты;
- глинисто-алеврито-песчаные породы аномальных разрезов.

Граница между высоко- и низкоглинистыми породами проходит по содержанию глинистого материала 40 %.

Отмечено, что положение типов пород в разрезе бессистемно в отношении места залегания (в нижней, верхней или средней части разреза) или может часто чередоваться с баженовитами (рис. 1).

В таблице 1 обобщены показатели условий формирования отложений баженовской свиты Среднего Приобья.

В [3] предметом исследования были выделены два основных типа пород в составе баженовской свиты, практически не образующих переходных разновидностей — глинисто-кремнистые породы — бажениты (в [2] эти породы обозначены как баженовиты) и аргиллиты. Баженитам присущи аномально высокие концентрации органического вещества и аутигенного биогенного кремнезёма. Бажениты описываются существующими представлениями о баженовских отложениях как продуктах медленной некомпенсированной седиментации в бассейне с высокой биологической продуктивностью.

Аргиллиты в сравнении с баженитами характеризуются меньшими концентрациями органического углерода, аутигенного кремнезёма и пирита. Меньшие, чем для баженитов, минерализации вод в бассейне указывают на то, что аргиллиты отлагались в условиях более интенсивного поступления в морской бассейн пресных вод с окружающей суши и существенно более высокого темпа терригенной седиментации.

Таким образом, отмечается принципиально различный режим седиментации двух этих типов пород.

Нефтегенерационный потенциал Западно-Сибирского осадочного бассейна в разрезах баженовской свиты распределён неравномерно:

- в центральных областях, где преобладают баженовиты, нефтегенерационный потенциал максимален;
- в периферийных зонах бассейна с преобладанием аргиллитов начальный генерационный потенциал ниже (рис. 2) [4].

Большое значение для моделирования и прогнозирования баженовских отложений имеет отмеченная в [4] особенность баженовской свиты — наличие области повышенных тепловых потоков — более 60 Вт/м<sup>2</sup> (пластовые температуры > 95–100 °С).

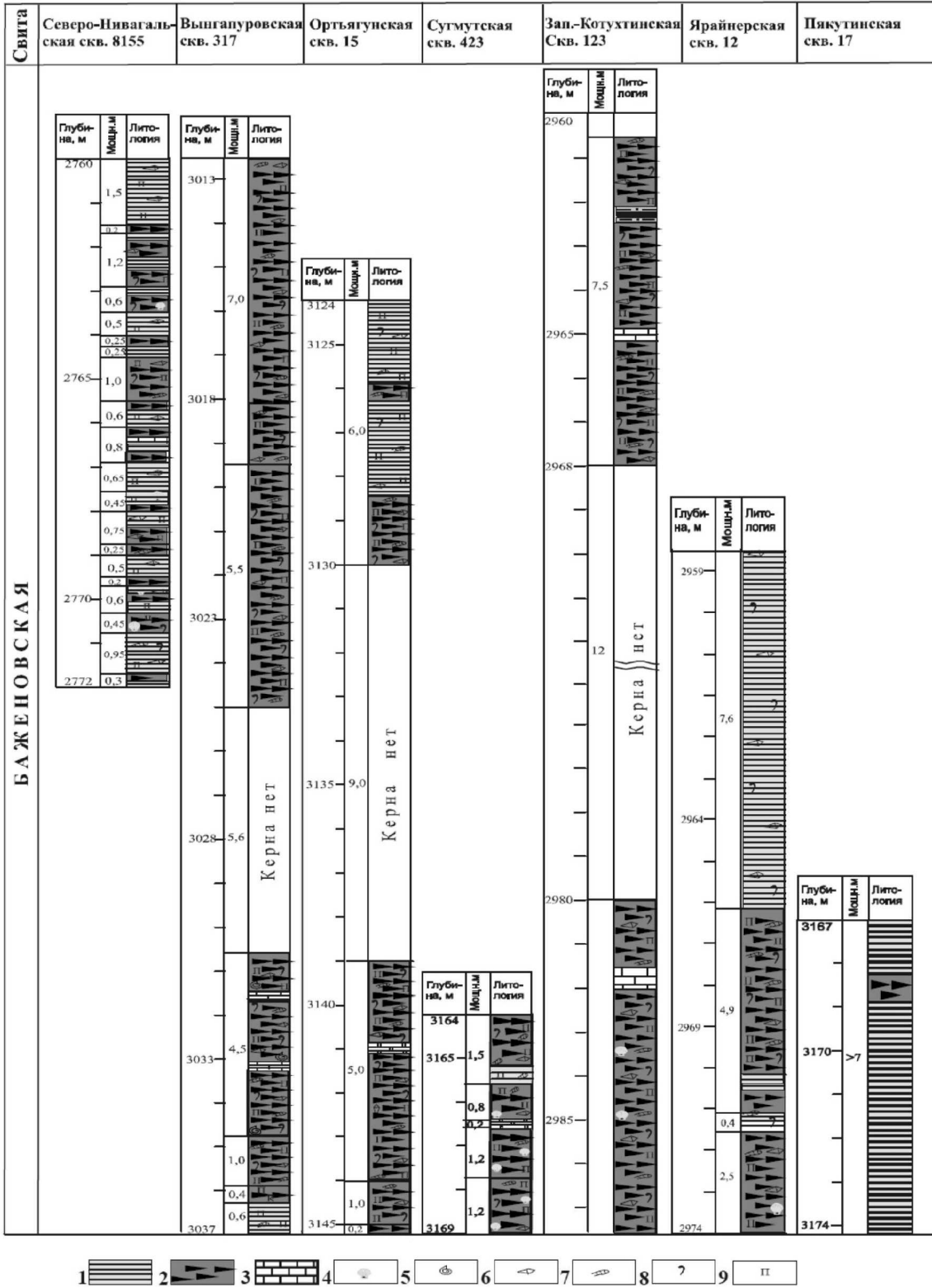
В [5] выполнено сравнение баженовской свиты и месторождения Грин Ривер (Green River) (США) по долям органической и минеральной компонент и ряду иных показателей (рис. 3). Можно отметить, что наиболее существенным отличием указанных месторождений является глубина залегания, которая в случае баженовской свиты существенно выше, чем у месторождения Грин Ривер.

Основные параметры литотипов пород баженовской свиты обобщены в [5] (табл. 2).

Как видно из таблицы 2, к числу пород, богатых керогеном, относятся:

- керогено-кремнисто-глинистые;
- глинисто-кремнисто-керогеновые;
- глинисто-керогено-карбонатные.

В [6] указано, что особенность баженовского коллектора состоит в том, что его фильтрационные свойства определяются первичной слоистостью и вторичной субвертикальной трещиноватостью.



**Рис. 1. Литологические колонки баженовской свиты по скважинам изученной площади Западно-Сибирской плиты:**

- 1 – аргиллиты; 2 – глинисто-кремнистые породы и силициты (баженовиты); 3 – карбонатные породы;
- 4 – реликты раковин двустворок; 5 – отпечатки раковин аммонитов; 6 – обломки скелетов рыб;
- 7 – ходы инфавуны; 8 – крючки онихитес; 9 – пирит

Таблица 1 – Некоторые показатели состава и условий формирования отложений баженовской свиты

Порода	Содержание $S_{орг}$ , %	Геохимические показатели окислительно-восстановительного режима		Окислительно-восстановительный режим		Общая степень развития биоты (бентос, планктон, нектон)	Показатель солёности (B/Ga) <sup>***</sup>	Темп седиментации	Тип седиментационной системы
		$M_0 / M_n$	СП <sup>**</sup>	Седиментации	Диагенеза				
Глинисто-кремнистая и кремнистая (баженовит) $n = 140$	11,0	1,48	0,86	От слабоокислительного до высоковосстановительного (эвксинского)	Высоковосстановительный	Высокая	11,09	Медленный	Гемипелагическая (фоновая) седиментация в условиях низкого темпа поступления глинистого материала
Высокоглинистая («аргиллит») $n = 65$	3,00	0,08	0,49	От слабоокислительного до слабо- или умеренно-восстановительного	Умеренно-восстановительный, иногда до высоковосстановительного	Умеренная	7,17	Пониженный	Турбидитная низкоплотностная в дистальных фациях, возможно, в условиях повышенного привноса глинистого материала
Глинисто-алевритовая песчаная аномальных разрезов $n = 10$	0,39	0,004	0,1	Окислительный	От окислительного до слабовосстановительного	Не выявлена	–	Быстрый	Отложения подводного русла (турбидитные проксимальные, дебрисные)

Примечание: \* – содержание глинистого материала выше 40 %, \*\* – процентное отношение пиритного железа к сумме железа пиритного и перешедшего в 2 %-ную солянокислую вытяжку, \*\*\* – по скважине № 8155 Северо-Нивагальской площади.



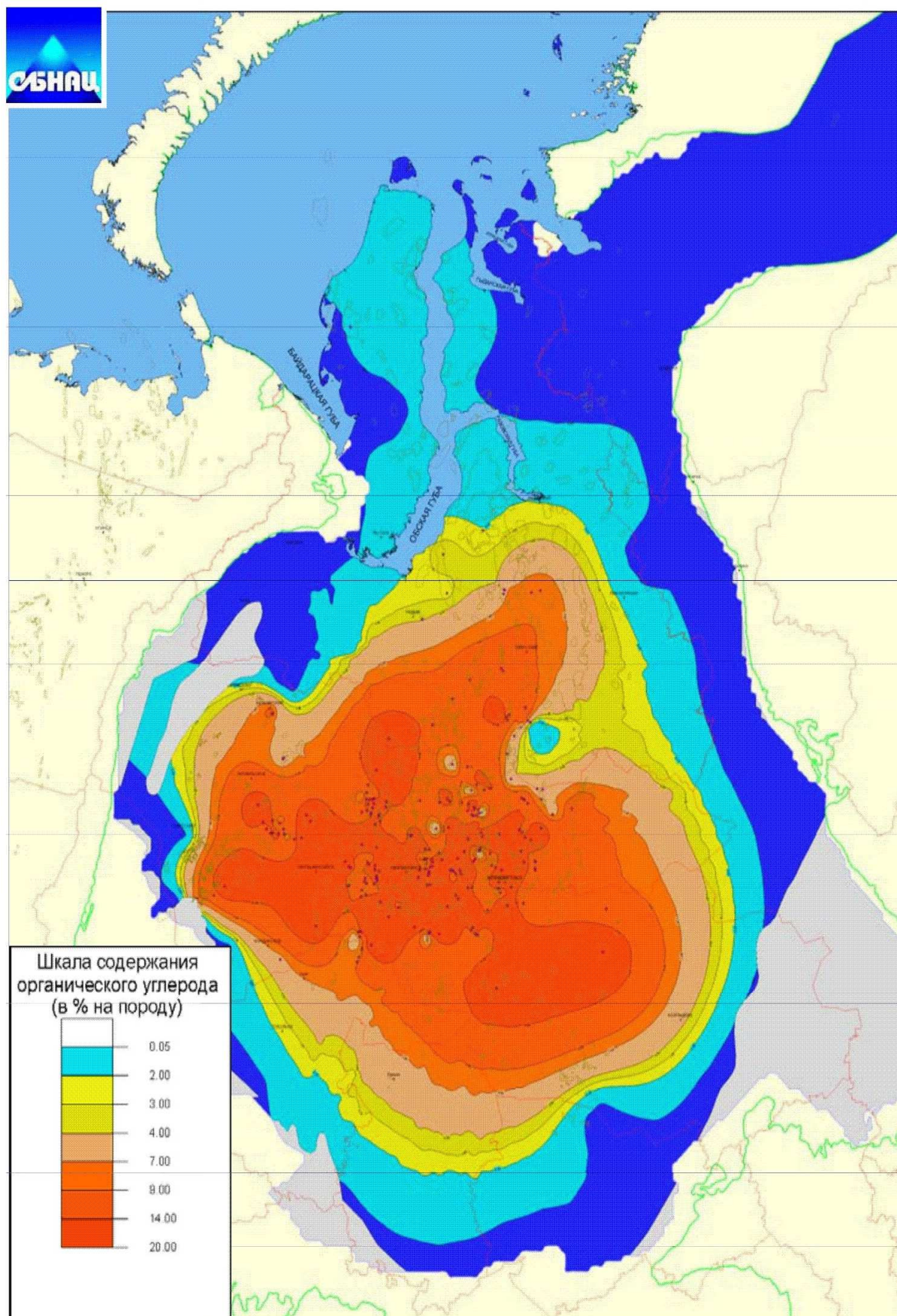


Рис. 2. Схема распространения органического углерода в отложениях баженовской свиты



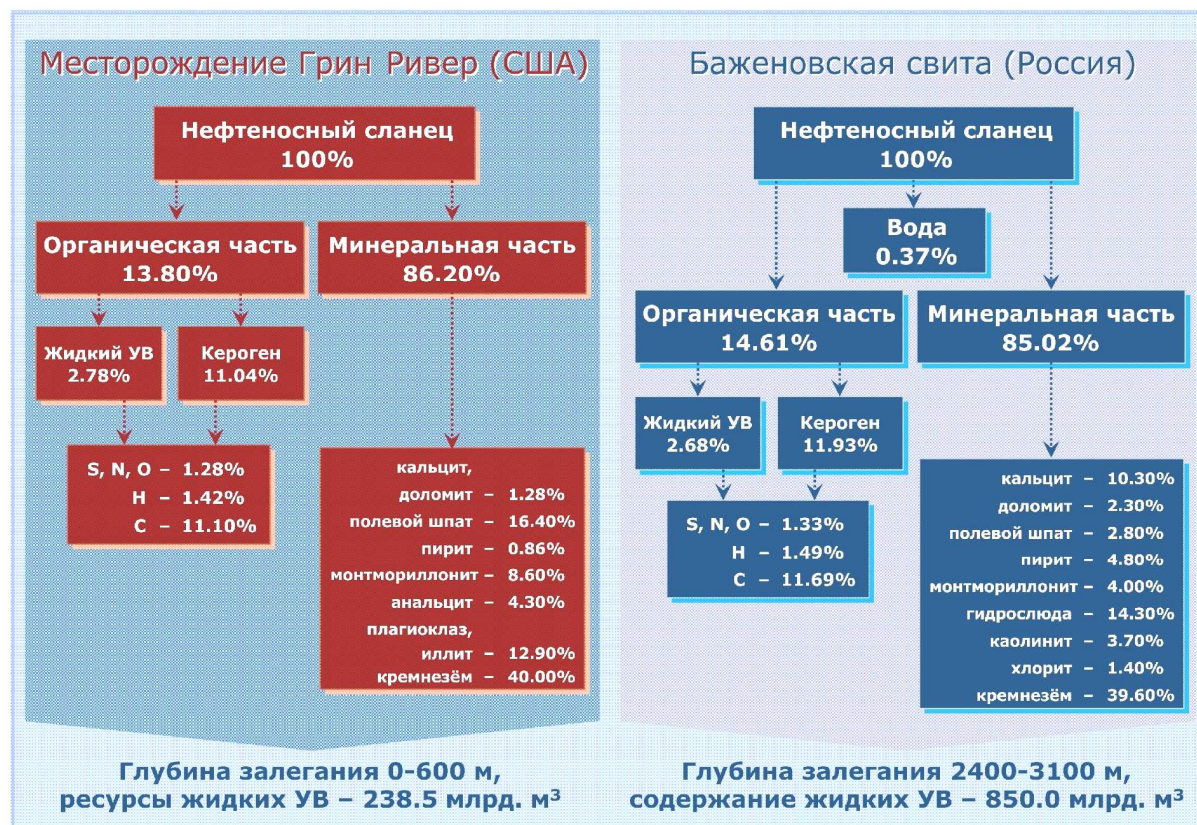


Рис. 3. Сравнительные характеристики баженовской свиты и месторождения Грин Ривер (США)

Таблица 2 — Основные параметры литотипов пород баженовской свиты

Номер и наименование литотипа породы	Содержание материала, % объемные				Пустотность пород, %		Проницаемость нефти, мкм <sup>2</sup>		Сжимаемость пустотного пространства пород, 10 <sup>-3</sup> МПа <sup>-1</sup>			Раскрытость трещин, мкм
	глинистого	кремнистого	карбонатного	керогена	поровая	каверно-трещинная	пород матрицы	каверно-трещинных пород	порового пространства		трещин	
									в упругой области	в упруго-пластической области		
I глинистый	>50	10 5-20	<5	<10	7 4-12	<0.1	10 <sup>-7</sup> 10 <sup>-8</sup> -10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-3</sup>	1.9-2.45	7.7-10.9	15.4	10-30
II керогено-кремнисто-глинистый	43 37-50	20 15-25	5 1-10	20 12-30	7.5 5.5-13	0.15 0.02-0.3	10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-8</sup> -10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-2</sup>	1.15-2.05	7-9.9	14	15-50
III глинисто-керогено-кремнистый	24 13-32	40 30-50	10 5-15	30 25-36	8.6 6-16	0.1 0.02-0.3	10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-7</sup> -10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-2</sup>	1.72-2.25	6.3-9.0	17.6	30-150
IV глинисто-кремнисто-керогеновый	23 18-25	27 20-35	15 10-20	40 35-45	8.5 6-15	0.1 0.04-0.2	10 <sup>-6</sup> 10 <sup>-8</sup> -10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-3</sup>	1.81-2.35	8.9-12.6	18.2	20-30
V глинисто-керогено-карбонатный	26 10-35	15 10-30	35 20-40	22 15-30	7.5 4-10	0.2 0.04-0.55	10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-1</sup>	0.5	4.3-6.1	13.8	25-500
VI керогено-глинисто-карбонатный	25 16-35	15 10-20	45 40-50	15 10-20	6 3-7.5	0.2 0.08-0.5	10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-1</sup>	0.35	0.5-0.7	14.5	30-800
VII карбонатный	<10	<10	>50	2 1-4	2.2 1.4-5.2	0.25 0.02-4	10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-1</sup>	0.3	0.4-0.5	14.7	30-1000
VIII песчано-алевритовый	12 10-15	37 30-45	10 5-50	15 10-20	13 10-16	<0.1	10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-5</sup> -10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-2</sup> 10 <sup>-3</sup> -10 <sup>-1</sup>	0.9-1.35	2.2-3.0	14	20-40

Генерационные возможности баженовской свиты определяются количеством, типом захороненного органического вещества (ОВ) и условиями его преобразования в процессах диагенеза и катагенеза. Наиболее значимый по содержанию органического вещества район распространения баженовской свиты — Средне-Обская область и прилегающая к ней территория (там сосредоточено около 90 % общих запасов нефти Западно-Сибирского бассейна).

В качестве количественной меры нефтеобразования может быть использован остаточный нефтегенерационный потенциал ( $S_2$ ). На большей территории Хантейской антиклизы этот показатель  $S_2$  имеет высокие значения и быстро падает по мере удаления от указанной территории (табл. 3).

Таблица 3 – Нефтегенерационные свойства керогена баженовской свиты района Среднего Приобья по данным пиролиза Rock-Eval

Месторождение	Показатели пиролиза				
	$S_1$	$S_2$	$C_{орг.}$ , %	HI, водородный индекс, кг $S_2$ /тонн $C_{орг}$	OI, кислородный индекс, кг $CO_2$ /тонн $C_{орг}$
Салымское	7,7–9,4	69,6–73,2	16,2–17,0	417–437	1–8
Киевское	9,3–12,3	113,5–121,8	18,5–20,9	583–612	1–2
Равенское	10,2–18,6	125,4–187,5	16,1–28,8	634–779	1–3
Южно-Сургутское	6,4–19,4	101,4–142,3	14,6–20,6	602–691	1–3
Приобское	16,1–23,4	97,8–123,6	22,1–30,0	388–454	1
Самотлорское	13,3–22,7	141,4–182,2	17,5–23,4	778–889	1–3
Варьеганское	9,38–10,6	78,5–94,6	11,8–13,9	665–679	1–3
Мегионское	8,0–13,5	92,4–106,4	16,3–17,3	565–616	4–5
Ватьеганское	12,7–13,8	69,1–78,4	15,8–26,7	306–438	5–7
Средне-Назымское	2,1–2,3	18,6–25,4	9,8–12,42	254–318	1–2
Галяновское	2,0–2,5	20,1–24,6	13,0–18,3	241–346	1–3

Задача оценки генерационного потенциала сланцевых месторождений имеет принципиальное значение. В [7] для оценки генерационного потенциала доманиковых отложений Восточно-Европейской платформы предложено использовать методы пиролитической хроматографии (рис. 4).

С помощью методов пиролитической хроматографии и микроскопии определяется тип ОВ и его зрелость (рис. 5).

В [8] предложена систематизация породы баженовской свиты и нижнетутлеймской подсвиты по генерационным пиролитическим характеристикам с выделением групп:

- метасоматические карбонаты с низким генерационным потенциалом (2–10 кгУВ/тонн породы);
- глинистые и карбонатно-глинистые силициты породы нижней части разрезов со средним генерационным потенциалом (15–60 кгУВ/тонн породы);
- глинистые и карбонатно-глинистые силициты верхней части разреза с высоким генерационным потенциалом (30–130 кгУВ/тонн породы);
- карбонатизированные силициты (10–30 кгУВ/тонн породы);
- силициты (12–30 кгУВ/тонн породы).

В карбонатизированных силицитах и метасоматических карбонатах содержание ОВ крайне мало (часто менее 1 %), а концентрация ОВ убывает прямо пропорционально содержанию в них карбонатных минералов вне зависимости от положения в разрезе (рис. 6).

Морфология порового пространства карбонизированного силицита представлена микропорами, сформированными в результате растворения радиоларий (рис. 7).

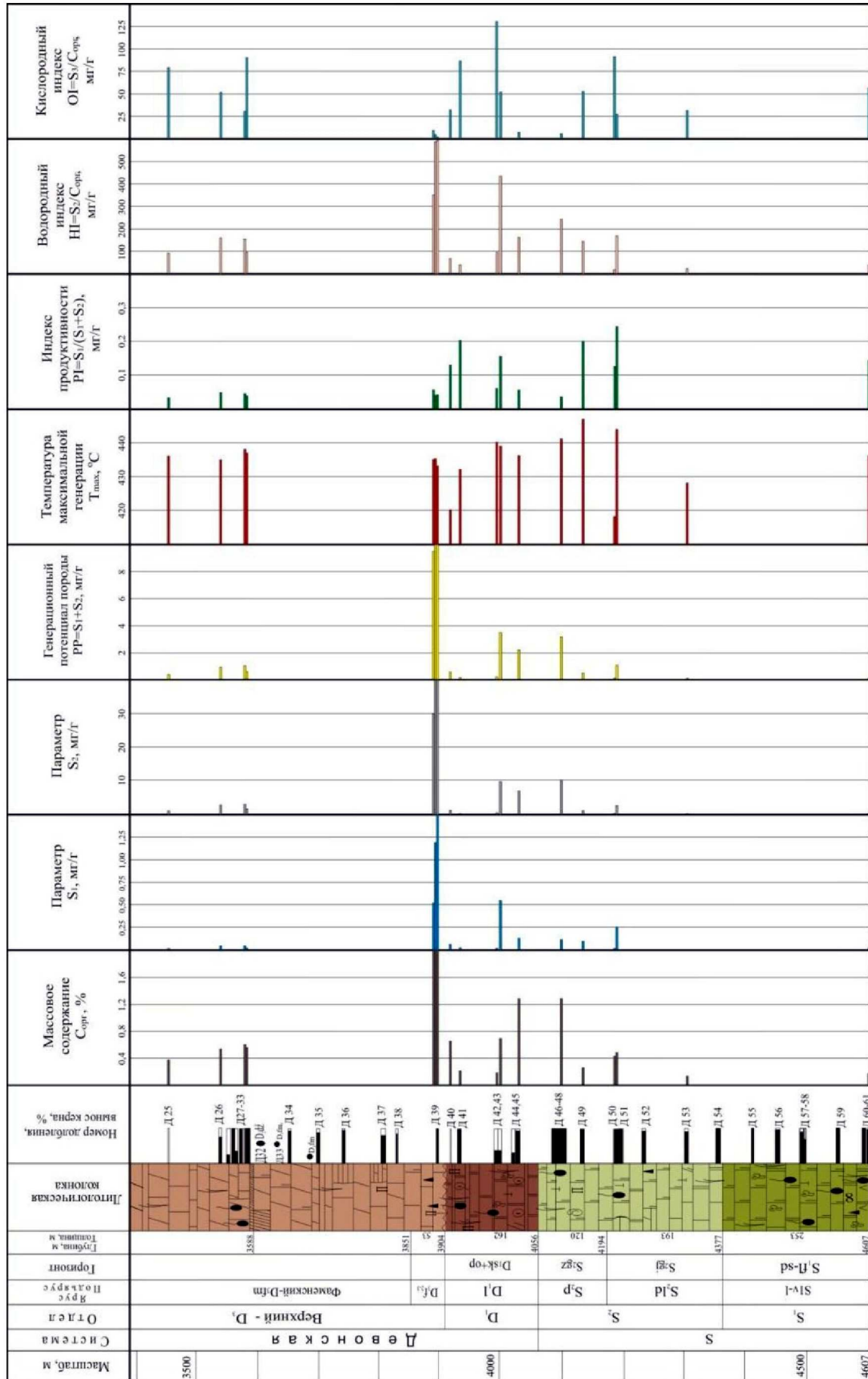


Рис. 4. Геохимическая характеристика разреза скважины № 2-Адакская по данным Rock-Eval



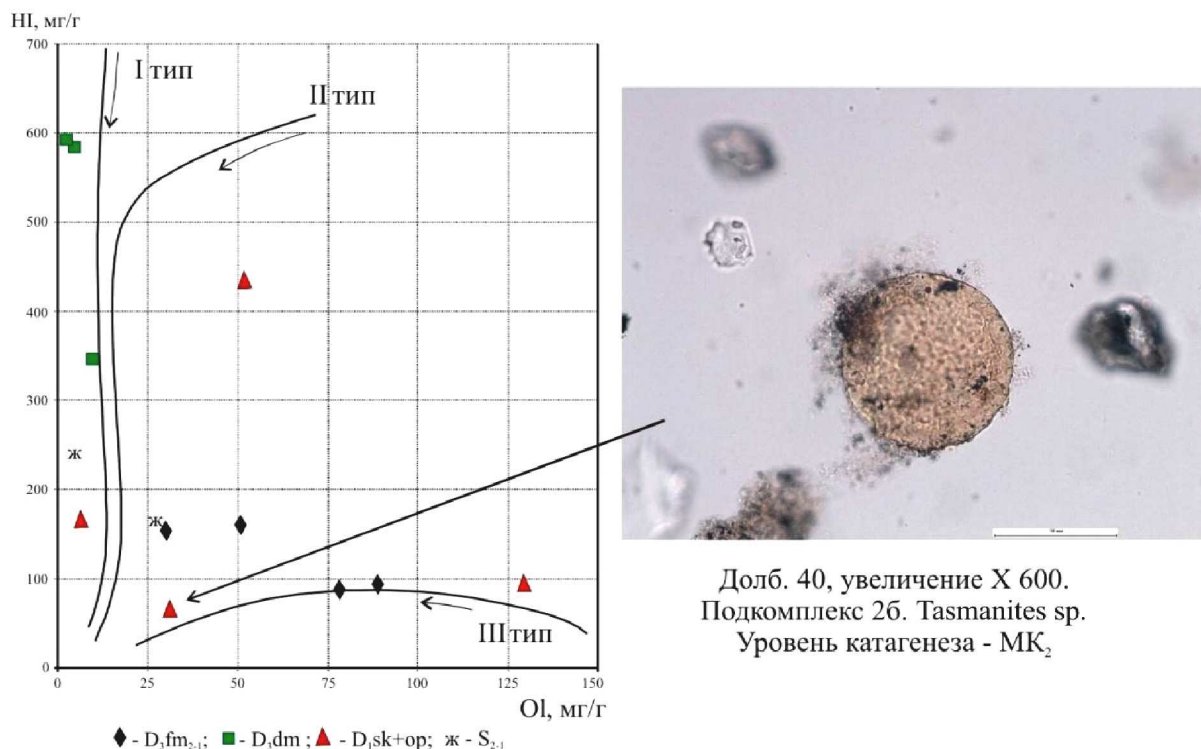


Рис. 5. Зависимость ОI и НИ для отложений скважины № 2 – Адакская и палинологическая характеристика ОВ

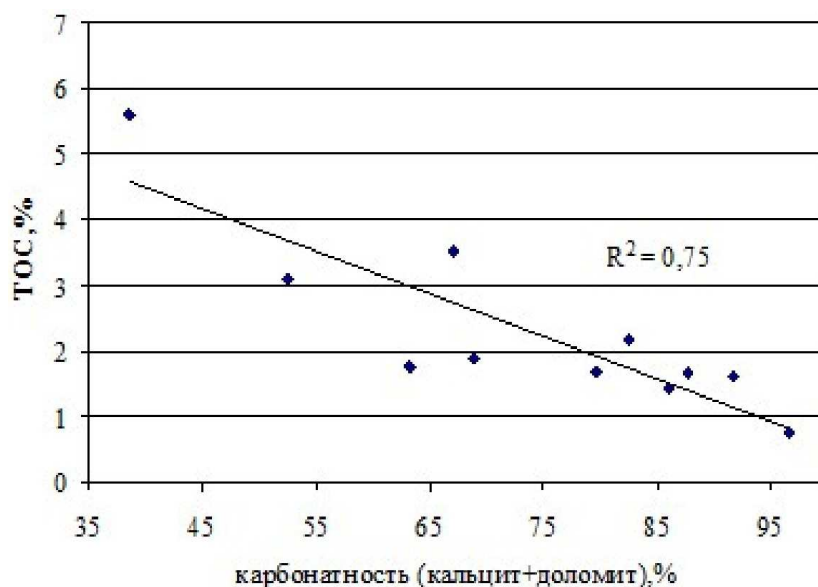


Рис. 6. Содержание органического углерода (ТОС) в породах баженовской свиты и нижнетуртлеймской подсвиты, содержащих более 35 % карбонатных минералов

В [7] показано, что углеродистые формации (баженовская, доманиковская и куонамская) существенно отличаются друг от друга по характеру статистического распределения  $S_{нк}$  (рис. 8).

Подводя итоги рассмотрению данных по баженовским отложениям и, в частности, по вопросам происхождения сланцевой нефти, следует отметить следующее. В классической работе И.М. Губкина «Учение о нефти» [9] в качестве исходного вещества нефти рассматривается сапропель смешанного животного-растительного происхождения, который проходит цепь превращений под действием анаэробных бактерий.

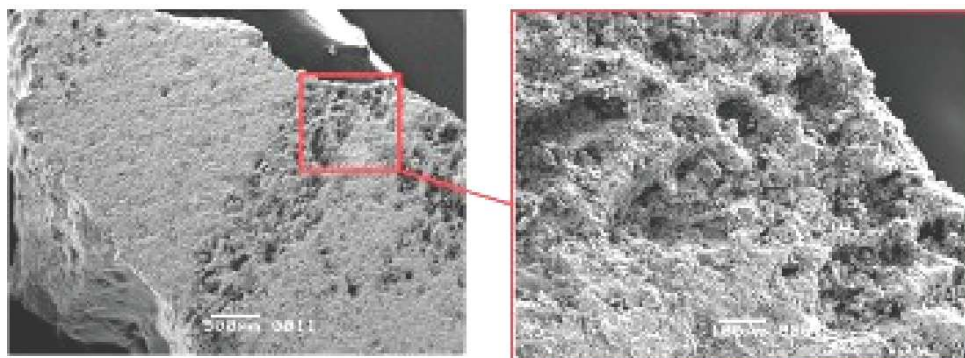


Рис. 7. Микроструктура пустотного пространства, образованного при выщелачивании радиолярий в карбонизированном силиците. Растровый электронный микроскоп. Коэффициент пористости составляет 12,11 %

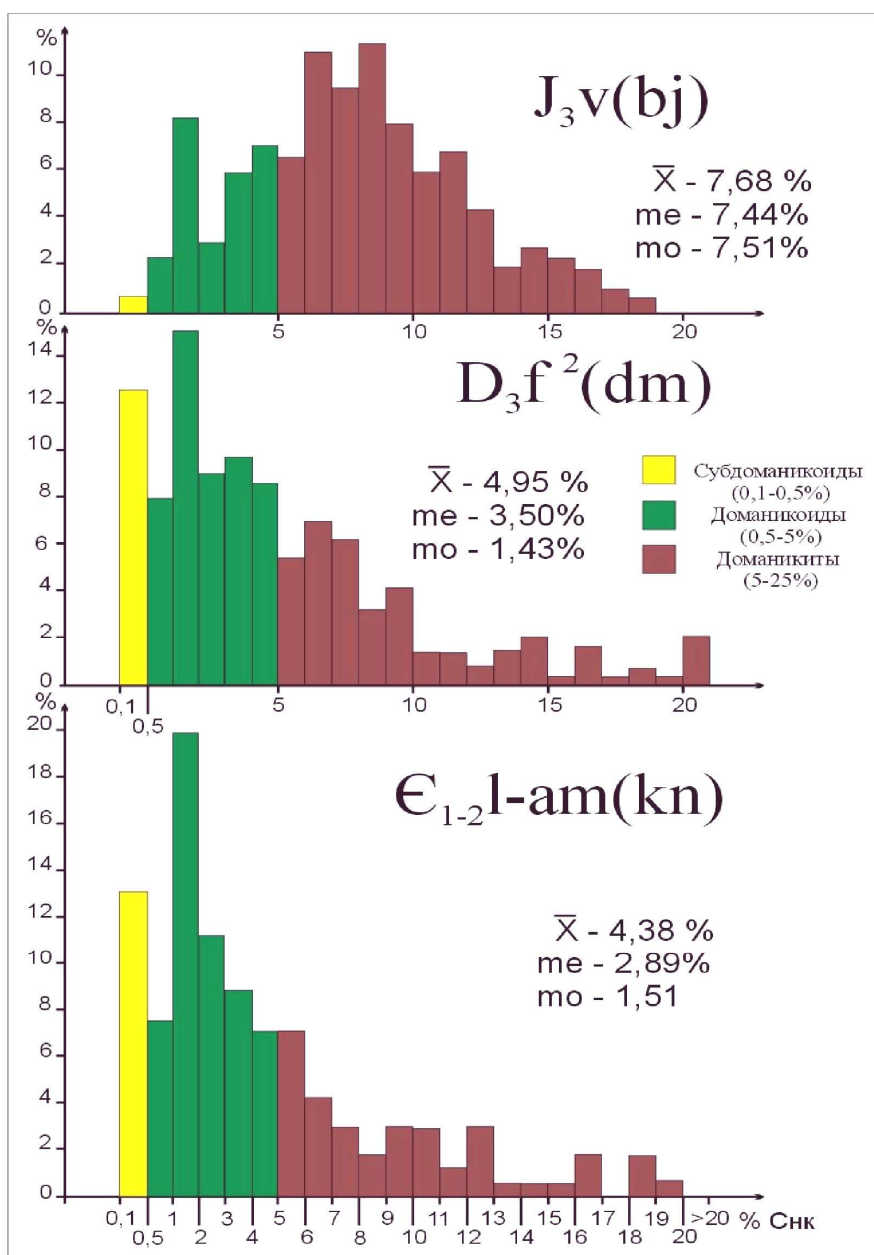


Рис. 8. Статистическое распределение Снк в углеродистых формациях (баженовской, доманиковой и куонамской)

Исследования сланцевых пород и природы сланцевой нефтеносности позволяют детализировать идеи И.М. Губкина. Так, в [10] указано на условие формирования аутигенной нефтеносности кремнистых толщ — пространственное, а в большинстве случаев и временное единство процессов генерации УВ и трансформации минералов кремнезёма и глинистых, обусловившее формирование коллектора, ловушки и нефтяной залежи.

### Формация Баккен

Баккен (Bakken) — месторождение сланцевой нефти (рис. 9). В таблице 4 представлены статистические данные за период с 1953 по 2013 гг. ежемесячной добычи нефти в формации Баккен на территории Северной Дакоты [11].

Период формирования сланцев Баккен относится к верхнедевонскому и нижнемиссиссипскому времени, а их область распространения составляет около 300 тыс. км<sup>2</sup> в бассейне Виллистоун на территории американских штатов Монтана, Северная и Южная Дакота, а также канадских провинций Саскачеван и Манитоба. Глубина залегания от 945 м на северной границе Канады до 3353 м в юго-западной части бассейна в Северной Дакоте. Непосредственно над формацией Баккен залегают песчаники Санита (Sanita) свиты Три Форкс (Three Forks) толщиной 76,2 м. Оценка ресурсов формации Баккен Геологической службой США в 2008 году составила 580 млн тонн нефти, 53 млрд м<sup>3</sup> газа и 23,5 млн тонн конденсата.

Месторождение Баккен (США) представляет очевидный интерес как интенсивно эксплуатируемый и обследованный сланцевый объект, с которого началась сланцевая революция в США.

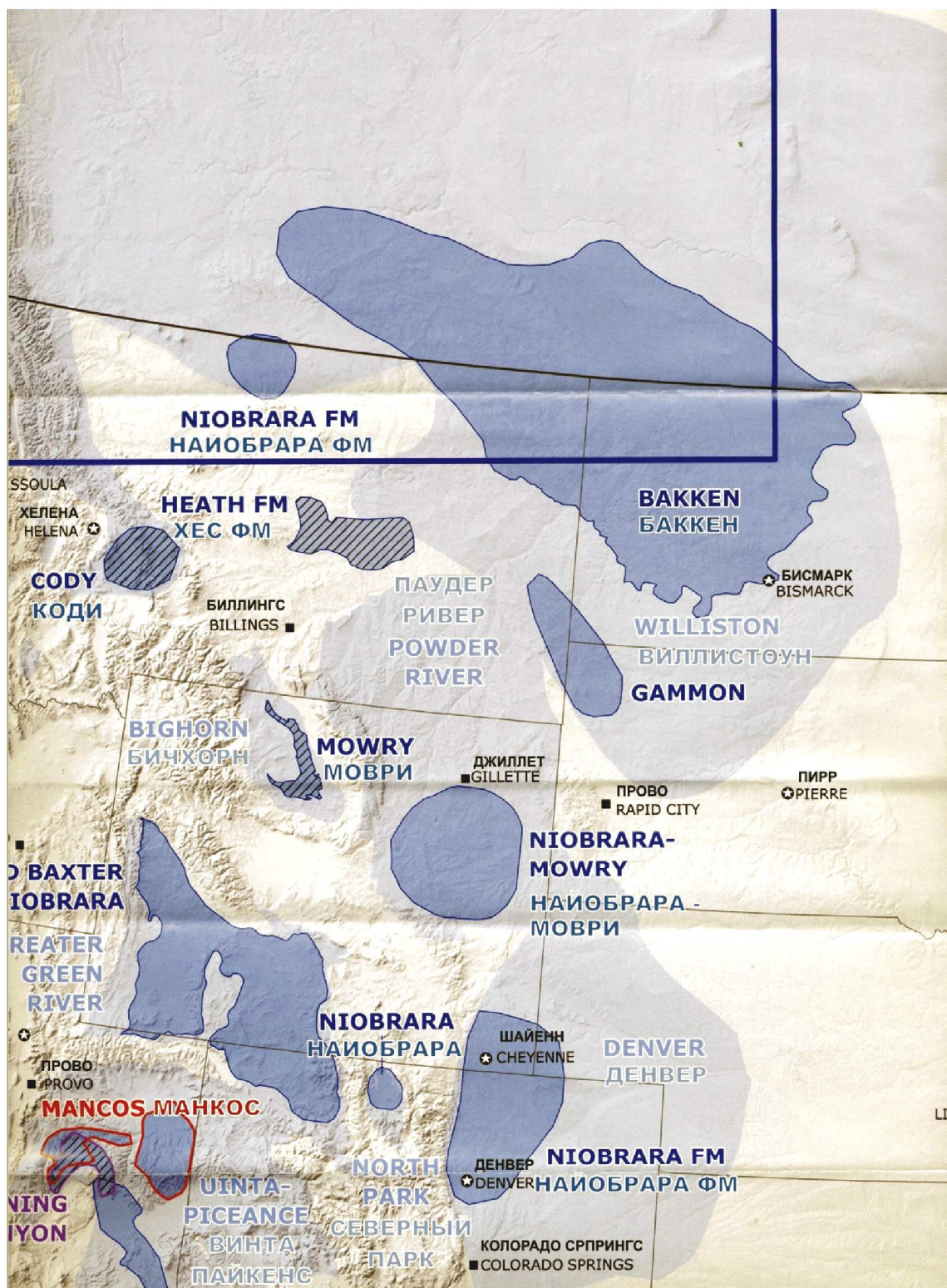
В формации Баккен первоначально был обнаружен слой доломита между двумя слоями сланцев (рис. 10) [12], а позже в других районах — тонкозернистый песчаник с высоким содержанием карбонатного материала. В обоих случаях эти породы обладали недостаточными для разработки фильтрационно-емкостными свойствами.

Таблица 4 – Статистические данные ежемесячной добычи нефти в формации Баккен\* на территории Северной Дакоты

Год	Месяц	Добыча нефти, барр.	Дневная добыча, барр./день	Количество добывающих скважин	Добыча нефти на 1 скважину, барр.	Дневная добыча нефти на 1 скважину, барр./день
1953	декабрь	5 429	175	1	5 429	175
1963	декабрь	73 705	2 378	34	2 168	70
1973	декабрь	9 252	298	14	661	21
1983	декабрь	72 225	2 330	60	1 204	39
1993	декабрь	214 782	6 928	254	8 46	27
2003	декабрь	50 924	1 643	194	262	8
2004	декабрь	28 458	1 886	189	309	10
2005	декабрь	120 970	3 902	219	552	18
2006	декабрь	314 478	10 144	289	1 088	35
2007	декабрь	1 028 073	33 164	446	2 305	74
2008	декабрь	3 496 311	112 784	868	4 028	130
2009	декабрь	5 101 913	164 578	1 332	3 830	124
2010	декабрь	8 488 083	273 809	2 064	4 112	133
2011	декабрь	14 575 316	470 171	3 275	4 450	144
2012	декабрь	21 854 103	704 971	5 047	4 330	140
2013	февраль	20 024 182	715 149	5 312	3 770	135

\* Включая Баккен, Саниш, Три Форкс





Источник: "Oil & Gas Journal", Sept. 5., 2011

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:



Рис. 9. Поля (плеи) и бассейны сланцевых углеводородов района Баккен у границы США и Канады





**Рис. 10. Схема разреза формации Баккен по данным [13]:**

1 – битуминозные глины; 2 – доломит, алевритистый доломит;  
3 – глинистый доломит; 4 – песчаник

При наличии пустот доломит и песчаник являются хорошими коллекторами для нефти. Идея Дика Финдли состояла в том, чтобы организовать систему трещин в доломите с помощью скважин и тогда доломит станет резервуаром для нефти.

Литостратиграфическое описание формации Баккен включает единицы [11]:

- нижняя сланцевая часть — материнская порода, богатая органическим веществом, — часть нетрадиционного резервуара формации Баккен, из которого ведётся добыча УВ. Пористость около 3,6 %, проницаемость до 0,001 мД. Максимальная мощность — около 15 м;

- средняя песчаная часть — толща состоит из переслаивающихся песчаников, доломитизированных песчаников, доломитов, алевролитов, сланцев, постоянно изменяющаяся мощность, литология, пористость и проницаемость (около 5 % и 0,04–1,0 мД) и другие петрофизические характеристики. Содержание органического углерода — до 7 %. Средняя часть подразделяется на 5 крупных литофаций, хотя есть и более дробные деления. Максимальная мощность — около 40 м;

- верхняя сланцевая часть — литология близка к нижней сланцевой части. Пористость около 3,6 %, проницаемость до 0,001 мД. Максимальная мощность — около 26 м.

Термин сланцевая формация Баккен принят для описания нижней и верхней сланцевой части формации Баккен.

Возраст формации Баккен — верхний девон — нижний миссиссипий (возрастной аналог европейского карбона).

Можно отметить на существенную особенность приведённого литостратиграфического описания формации Баккен — высокую подвижность петрофизических характеристик пород (песчаников, доломитизированных песчаников, доломитов, алевролитов и др.) — принципиальную черту сланцевых месторождений, создающую элементы неопределённости и нечёткости при их разработке и ведущую к возникновению больших затруднений при прогнозировании этих объектов.

На рисунке 11 представлена схематическая стратиграфическая колонка осадочного бассейна Уиллистон (в штатах Монтана и Северная Дакота) с указанием общих нефтегазоносных систем (TPS).

В части общей нефтегазоносной системы Баккен-Лоджполе (Bakken-Logdepole) литология пород не указана, обозначено несогласное залегание формации Баккен, песчаников Саниш (Sanish sand) и отложений Три Форкс (Three Forks Formation) [14].

На рисунке 12 дан схематический стратиграфический разрез формации Баккен с указанием характера развития трещин в непрерывном коллекторе [14]. Как указывалось ранее, способность к образованию новых поверхностей раздела представляет собой одну из предпосылок эффективной добычи УВ из сланцевых месторождений.

Технология добычи в формации Баккен — сочетание гидроразрыва и горизонтального бурения (рис. 13).

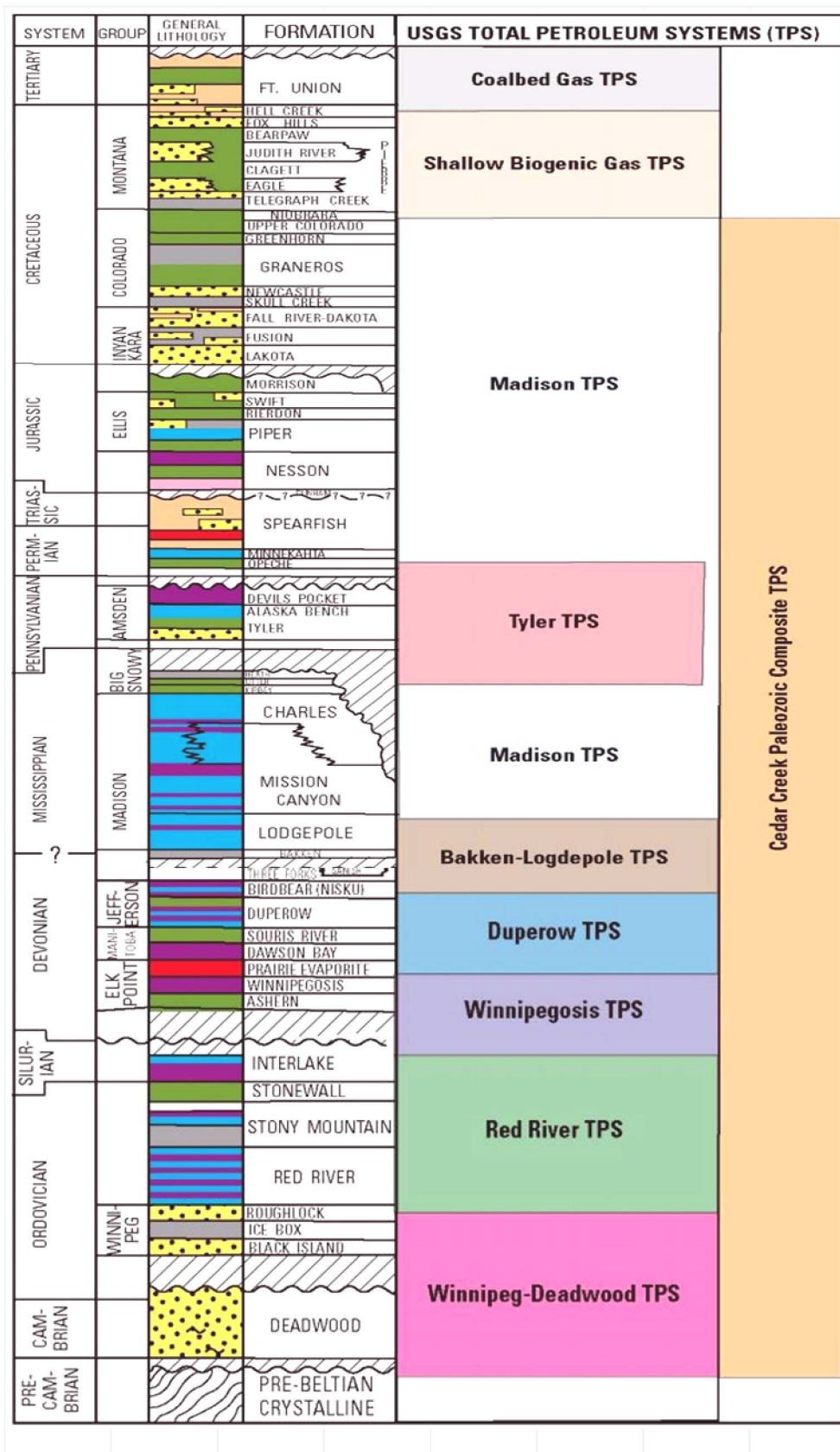


Рис. 11. Схематическая стратиграфическая колонка осадочного бассейна Уиллистон (в штатах Монтана и Северная Дакота) с указанием общих нефтегазоносных систем (TPS)

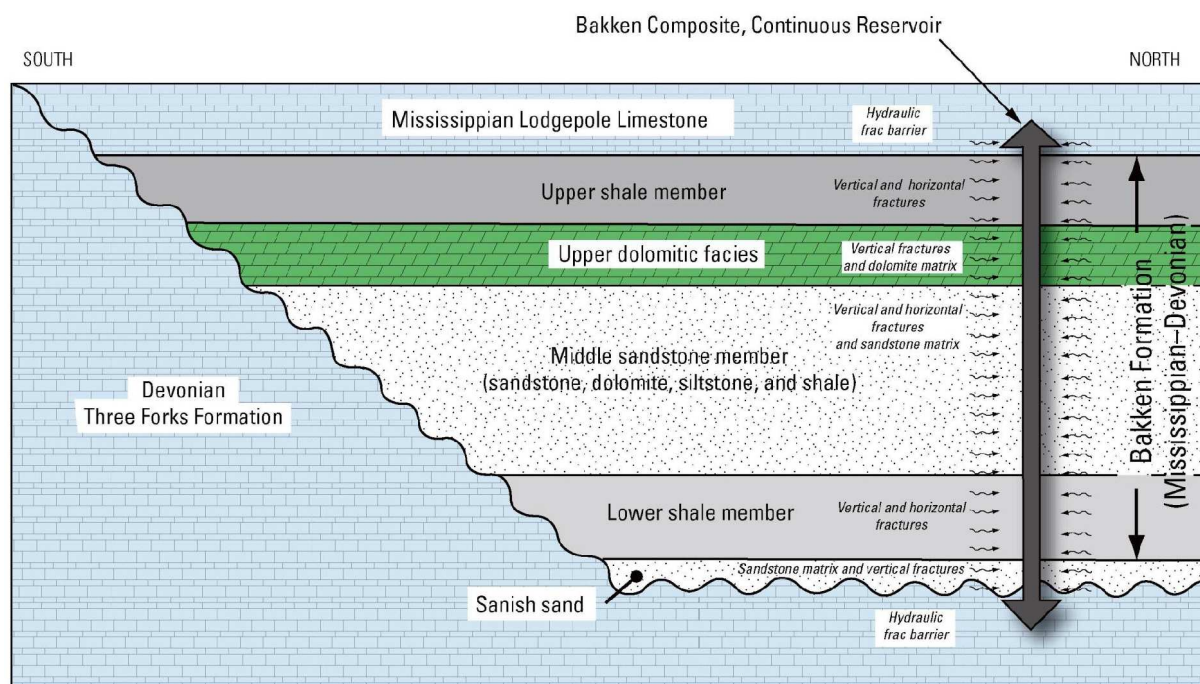


Рис. 12. Схематический стратиграфический разрез формации Баккен с указанием характера развития трещин в непрерывном коллекторе

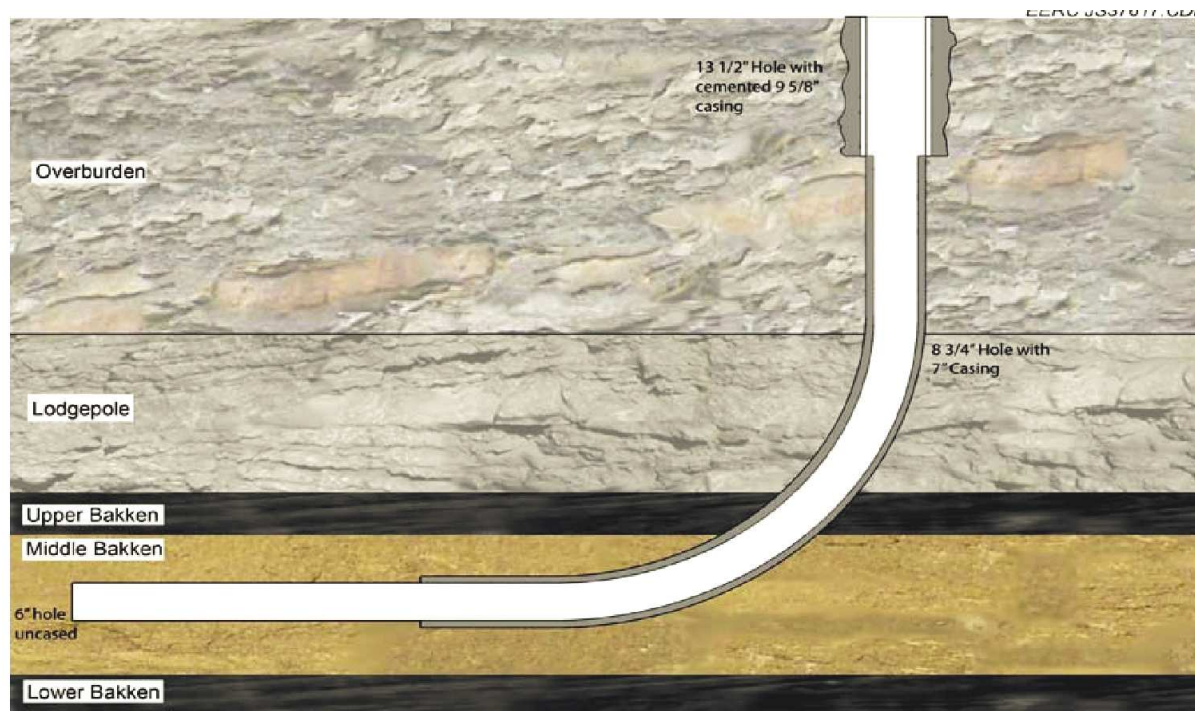


Рис. 13. Горизонтальные скважины — основа технологии добычи в формации Баккен [15]

Динамика добычи нефти в формации Баккен (табл. 4) имеет ряд принципиальных особенностей:

- интенсивная добыча ведётся с 2003 г. по настоящее время;
- основной способ интенсификации добычи — рост числа новых скважин;
- по параметру добычи нефти на 1 скважину за последние годы достигнут стабильный уровень — около 4 тыс. барр., что говорит об определённом исчерпании технологических возможностей совершенствования добычи.



Постоянное введение новых скважин сопровождается ростом числа заканчиваемых скважин (рис. 14) [16].

На рисунке 15 показаны графики годовой и накопленной добычи скважин формации Баккен.

Как было показано ранее, в силу ряда причин прогнозирование добычи сланцевых месторождений представляет собой проблему высокой сложности, решение которой на фундаментальном уровне ещё не найдено.

В связи с этим при прогнозировании добычи используют вариативный метод с широким диапазоном возможных сценариев. Основной приём отработки методов прогнозирования состоит в том, чтобы проводить отбор и корректировку разных моделей на основе их проверки на эксплуатируемых месторождениях.

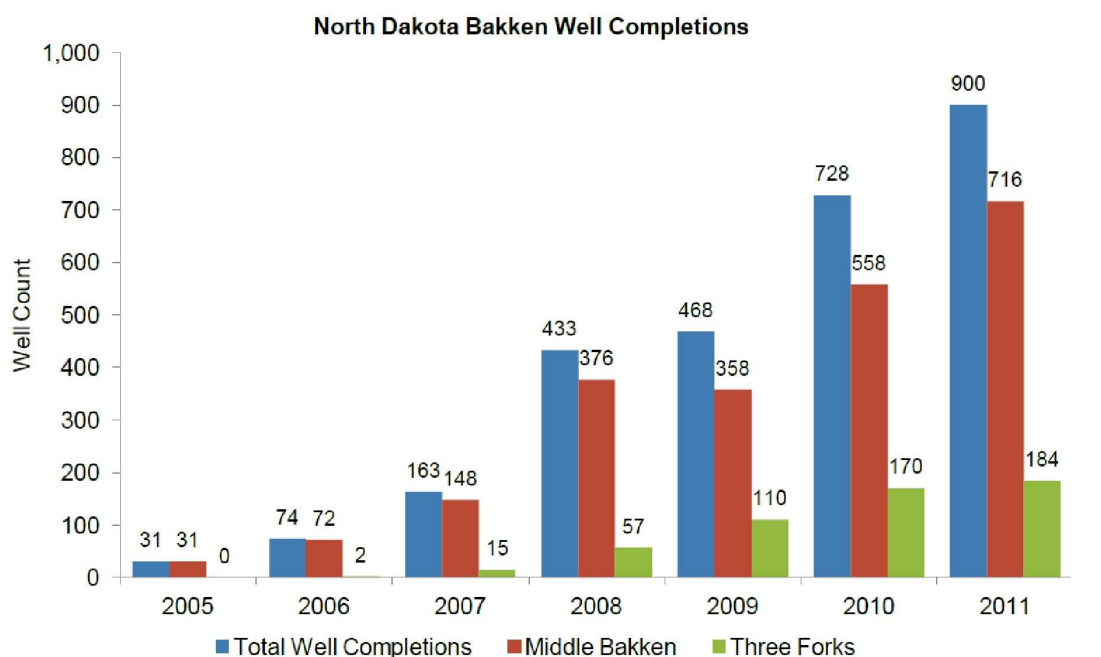


Рис. 14. Ежегодное количество завершённых скважин

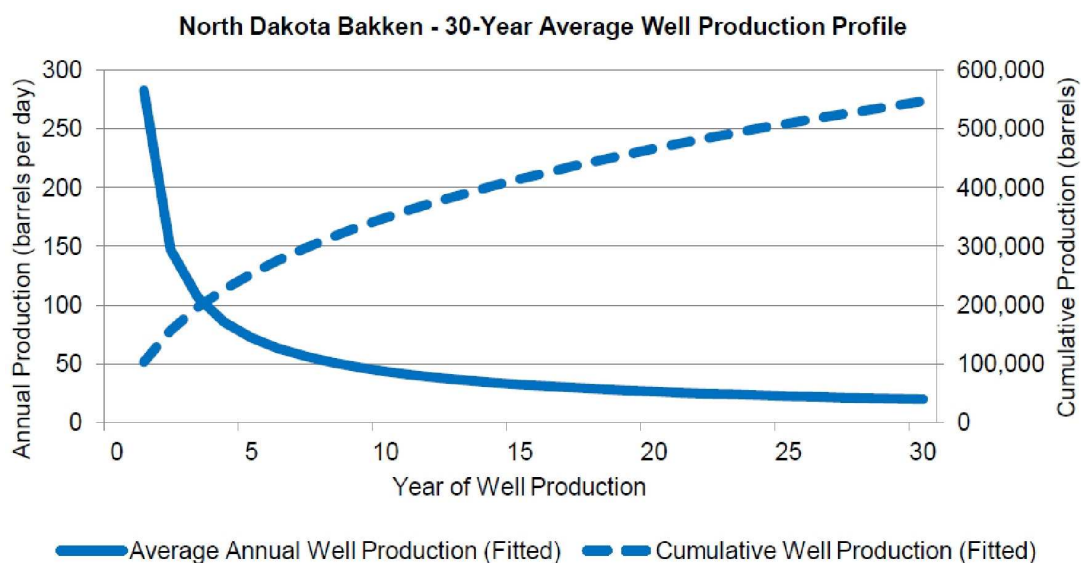
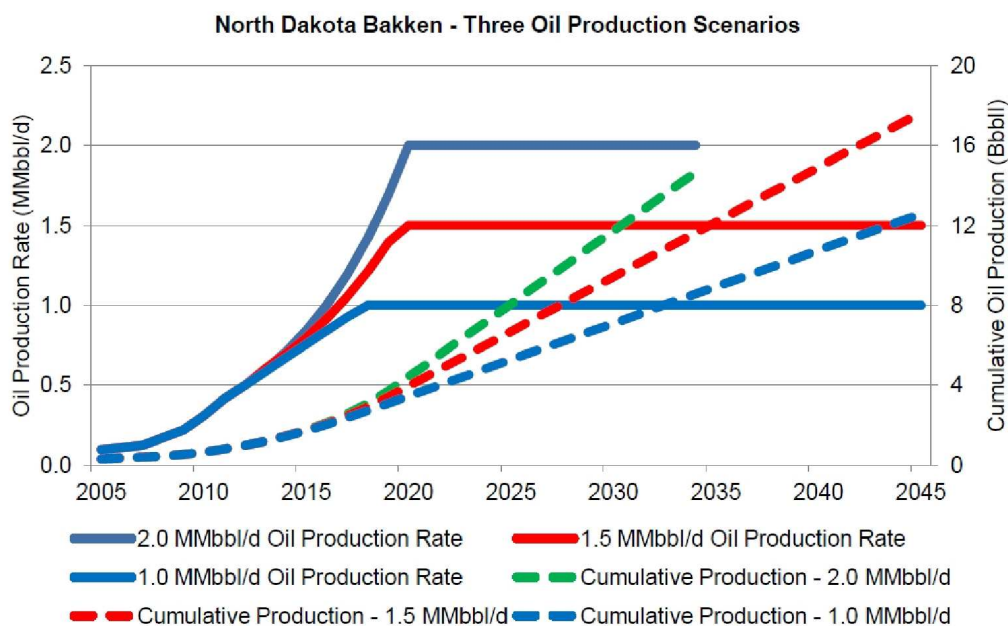


Рис. 15. Годовая и накопленная добычи скважин формации Баккен:

— средняя годовая добыча в скважине;  
 — накопленная годовая добыча в скважине



Так, в [16] при прогнозировании добычи в формации Баккен в Северной Дакоте к 2020 году рассматриваются 3 сценария: 1 млн барр./день, 1,5 млн барр./день и 2 млн барр./день, которые к 2045 году будут поддерживаться работой 27000 скважин, 41000 скважин и 55000 скважин соответственно (рис. 16).



**Рис. 16. Три сценария добычи на формации Баккен:**

- 1 – добыча нефти 2,0 млн барр./ день; 2 – добыча нефти 1,5 млн барр./ день;  
 3 – добыча нефти 1,0 млн барр./ день; 4 – суммарная добыча для 2,0 млн барр./день;  
 5 – суммарная добыча для 1,5 млн барр./ день; 6 – суммарная добыча для 1,0 млн барр./ день

На основе сравнительного анализа месторождений баженовской свиты и формации Баккен можно сделать следующие выводы:

- по геолого-петрографическим и литологическим характеристикам горные породы баженовской свиты и формации Баккен близки друг к другу и представлены глинистыми породами, песчаниками и другими породами;
- в результате усилий отечественных учёных разработаны научные принципы проблемы природы сланцевой нефтеносности на примере баженовской свиты, что создаёт определённые предпосылки для технологических решений;
- формация Баккен — высокоотработанный эксплуатационный объект, по которому накоплен обширный фактический материал, позволяющий эффективно совершенствовать технологии сланцевой добычи и оценивать достоверность научных гипотез и модельных представлений.

В заключении можно сделать следующие выводы:

1. Показано, что в результате усилий отечественных учёных разработаны научные принципы проблемы природы сланцевой нефтеносности на примере баженовской свиты, что создаёт определённые предпосылки для технологических решений.
2. Показано, что по формации Баккен как высокоотработанному эксплуатационному объекту накоплен обширный фактический материал, позволяющий эффективно совершенствовать технологии сланцевой добычи и оценивать достоверность научных гипотез и модельных представлений.

### Литература:

1. Арутюнов Т.В., Арутюнов А.А., Савенок О.В. Постановка задачи физико-химического моделирования сланцевых пород // Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». – М. : Издательство ООО «Ай Ди Эс Дриллинг», 2015. – № 1.
2. Занин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Некоторые аспекты формирования баженовской свиты в центральных районах Западно-Сибирского осадочного бассейна / Литосфера. – Ека-

теринбург г: Издательство «Учреждение Российской академии наук Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого Уральского отделения Российской академии наук», 2005. – № 4. – С. 118–135. – URL : [http://www.lithosphere.igg.uran.ru/Contents\\_2005\\_4.html](http://www.lithosphere.igg.uran.ru/Contents_2005_4.html)

3. Конторович А.Э., Меленевский В.Н., Занин Ю.Н. и др. Литология, органическая геохимия и условия формирования основных типов пород баженовской свиты (Западная Сибирь) / Геология и геофизика. – Новосибирск : Издательство «Федеральное государственное унитарное предприятие «Издательство Сибирского отделения Российской академии наук», 1998. – Т. 39. – № 11. – С. 1477–1491.

4. Нестеров И.И. Нефтегазоносность битуминозных глинистых пород западной Сибири. – Ханты-Мансийск ОАО «Сибирский научно-аналитический центр», 2011. – URL : [http://www.csr-nw.ru/upload/file\\_content\\_375.pdf](http://www.csr-nw.ru/upload/file_content_375.pdf)

5. Чирков В.Л., Сонич В.П. Степень геологической изученности баженовской свиты на территории деятельности ОАО «Сургутнефтегаз». – URL : <http://www.ncintech.ru/files/28-09-2010/1-prsnt-chirkov.pdf>

6. Вертиевец Ю.А. Геологическое обоснование освоения трудноизвлекаемых запасов нефти кероген-глинисто-силицитовых пород баженовской свиты района Красноленинского свода : Дисс. ... канд. геолого-минерал. наук: специальность 25.00.12 «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений»; [Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина]. – М., 2011. – 154 с.

7. Прищепа О.М. Ресурсный потенциал и направления изучения нетрадиционных источников углеводородного сырья РФ. – URL : <http://www.spbenergo.com/publ/630-prishepa-resources.html>

8. Балущкина Н.С. Литофизическая типизация и нефтеносность пород баженовского горизонта в зоне сочленения Сургутского и Красноленинского сводов : Дисс. ... канд. геолого-минерал. наук: специальность 25.00.12 «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений»; Геологический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. – М., 2011. – 187 с.

9. Губкин И.М. Учение о нефти. – М.-Л.: ГОНТИ, 1932. – 443 с.

10. Баженова О.К. Аутигенная нефтеносность кремнистых толщ : Дисс. ... д-ра геолого-минерал. наук: специальность 04.00.17 «Геология, поиски и разведка нефтяных и газовых месторождений»; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. – М., 1991. – 489 с.

11. DMR — North Dakota Industrial Commission, Department of Mineral Resources, Oil and Gas Division. – URL : <https://www.dmr.nd.gov/>

12. Баженовская свита: в поисках большой сланцевой нефти на Верхнем Салыме. Tuesday, August 27, 2013. – URL : <http://rogtecmagazine.com/ru/баженовская-свита-в-поисках-большой-с/>

13. Neil L. Olesen. Bakken oil resource play Williston basin (US). Overview and historical perspective. July 28, 2010. – URL : <http://www.ogs.ou.edu/MEETINGS/Presentations/Shales2010/Olesen.pdf>

14. Прищепа О.М., Аверьянова О.Ю., Высоцкий В.И., Морариу Д. Формация Баккен: геология, нефтегазоносность и история разработки // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. – № 2. – С. 1–28. – URL : [http://www.ngtp.ru/rub/9/19\\_2013.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/19_2013.pdf)

15. James A. Sorensen, Darren D. Schmidt, Steven A. Smith, Terry P. Bailey, Blaise A.F. Mibeck, John A. Harju. Final Report SUBTASK 1.2 – Evaluation of key factors affecting successful oil production in the Bakken formation, North Dakota / Energy & Environmental Research Center. University of North Dakota. May 19, 2010. – URL : [http://www.undeerc.org/bakken/pdfs/JAS\\_Bakken\\_May10.pdf](http://www.undeerc.org/bakken/pdfs/JAS_Bakken_May10.pdf)

16. James Mason. Oil Production Potential of the North Dakota Bakken // Oil & Gas Journal. February 10, 2012. – URL : [http://www.solarplan.org/Research/Mason\\_Oil\\_%20Production%20Potential%20of%20the%20North%20Dakota%20Bakken\\_OGJ%20Article\\_10%20February%202012.pdf](http://www.solarplan.org/Research/Mason_Oil_%20Production%20Potential%20of%20the%20North%20Dakota%20Bakken_OGJ%20Article_10%20February%202012.pdf)

## References:

1. Arutyunov T.V., Arutyunov A.A., Savenok O.V. Problem definition of physical and chemical modeling of slate breeds//Scientific and technical magazine «Inzhener-neftyanik». – М. : JSC Ai Dee Es Drilling publishing house, 2015. – No. 1.

2. Zанин Ю.Н., Замирайлова А.Г., Эдер В.Г. Some aspects of formation of the Bazhenov shale in the central regions of the Zapadno-Sibir-sky decantation basin / the Lithosphere. – Ekaterinbur: Publishing house «Establishment of the Russian Academy of Sciences Institute of geology and geochemistry of A.N. Zavaritsky of the Ural office of the Russian Academy of Sciences», 2005. – No. 4. – P. 118–135. – URL : [http://www.lithosphere.igg.uran.ru/Contents\\_2005\\_4.html](http://www.lithosphere.igg.uran.ru/Contents_2005_4.html)

3. Kontorovich A.E., Melenevsky V.N., Zanin Yu.N., etc. Lithology, organic geochemistry and conditions of formation of the main types of breeds of the Bazhenov shale (Western Siberia) / Geology and geophysics. – Novosibirsk: Publishing house «Federal state unitary enterprise «Publishing House of the Siberian Office of the Russian Academy of Sciences», 1998. – V. 39. – No. 11. – P. 1477–1491.
4. Nesterov I.I. Neftegazonosnost of bituminous clay rocks of Western Siberia. – Khanty-Mansiysk JSC Siberian Scientific and Analytical Center, 2011. – URL : [http://www.csr-nw.ru/upload/file\\_content\\_375.pdf](http://www.csr-nw.ru/upload/file_content_375.pdf)
5. Chirkov V.L., Sonich V.P. Stepen of geological study of the Bazhenov shale in the territory of activity of JSC Surgutneftegas. – URL : <http://www.ncintech.ru/files/28-09-2010/1-prsnt-chirkov.pdf>
6. Vertiyevets Yu.A. Geological justification of development of hardly removable reserves of oil kerogen – clay cilit. breeds of the Bazhenov shale of the region of the Krasnoleninsky arch: diss. ... edging. geological mineral. sciences: specialty 25.00.12 «Geology, searches and investigation of oil and gas fields»; [Gubkin Russian State University of Oil and Gas]. – M., 2011. – 154 p.
7. Prishchepa O.M. Resource potential and directions of studying of nonconventional sources of hydrocarbonic raw materials of the Russian Federation. – URL : <http://www.spbenergo.com/publ/630-prishchepa-resources.html>
8. Balushkina N.S. Litofizicheskaya typification and oil-bearing capacity of breeds of the bazhenovsky horizon in a zone of a joint of the Surgut and Krasnoleninsky arches: diss. ... edging. geological mineral. sciences: specialty 25.00.12 «Geology, searches and investigation of oil and gas fields»; Geologic. faculty of Moscow State University of the name M.V. Ломоносова. – M., 2011. – 187 p.
9. Gubkin I.M. The doctrine about oil. – M.-L. : GONTI, 1932. – 443 p.
10. Bazhenova O.K. Autigennaya oil-bearing capacity of siliceous thicknesses: diss. ... Dr.s geological mineral. sciences: specialty 04.00.17 «Geology, searches and investigation of oil and gas fields»; Moscow state university of the name M.V. Lomonosov. – M., 1991. – 489 p.
11. DMR — North Dakota Industrial Commission, Department of Mineral Resources, Oil and Gas Division. – URL: <https://www.dmr.nd.gov/>
12. Bazhenov shale: in search of big slate oil on the Top Salym. Tuesday, August 27, 2013. – URL : <http://rogtecmagazine.com/ru/bazhenovskaya-suite-in-searches-big-s/>
13. Neil L. Olesen. Bakken oil resource play Williston basin (US). Overview and historical perspective. July 28, 2010. – URL : <http://www.ogs.ou.edu/MEETINGS/Presentations/Shales2010/Olesen.pdf>
14. Prishchepa O.M., Averyanova O.Yu., Vysotsky V.I., Morariu D. Formation Bakken: geology, oil-and-gas content and history of development // Oil and gas geology. Theory and practice. – 2013. – T. 8. – No. 2. – P. 1–28. – URL : [http://www.ngtp.ru/rub/9/19\\_2013.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/9/19_2013.pdf)
15. James A. Sorensen, Darren D. Schmidt, Steven A. Smith, Terry P. Bailey, Blaise A.F. Mibeck, John A. Harju. Final Report SUBTASK 1.2 – Evaluation of key factors affecting successful oil production in the Bakken formation, North Dakota / Energy & Environmental Research Center. University of North Dakota. May 19, 2010. – URL : [http://www.undeerc.org/bakken/pdfs/JAS\\_Bakken\\_May10.pdf](http://www.undeerc.org/bakken/pdfs/JAS_Bakken_May10.pdf)
16. James Mason. Oil Production Potential of the North Dakota Bakken // Oil & Gas Journal. February 10, 2012. – URL : [http://www.solarplan.org/Research/Mason\\_Oil\\_Production\\_Potential\\_of\\_the\\_North\\_Dakota\\_Bakken\\_OGJ\\_Article\\_10\\_February\\_2012.pdf](http://www.solarplan.org/Research/Mason_Oil_Production_Potential_of_the_North_Dakota_Bakken_OGJ_Article_10_February_2012.pdf)