

КЕРОГЕНЫ ВЕРХНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО БАСЕЙНА. ТИПЫ И КИНЕТИКА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

А. А. Дешин¹, Л. М. Бурштейн¹, А. П. Родченко¹, Н. С. Ким¹, А. Н. Козырев¹, С. А. Язикова²

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск

²Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск

Аннотация. В работе представлены кинетические характеристики керогенов гольчихинской и яновстанской свит. Показана зависимость масштабов и динамики генерации от кинетических характеристик керогенов.

Ключевые слова: керогены, гольчихинская свита, яновстанская свита, баженовская свита, кинетические характеристики.

UPPER JURASSIC FORMATIONS KEROGENS OF THE WEST SIBERIAN BASIN NORTHEAST PARTS. TYPES AND KINETIC TRANSFORMATIONS

A. A. Deshin¹, L. M. Burshtein¹, A. P. Rodchenko¹, N. S. Kim¹, A. N. Kozhyrev¹, S. A. Yazikova²

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk

²Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk

Annotation. The paper presents the kinetic characteristics of kerogens of the Golchikha and Yanovstan formations. The dependence of the scale and dynamics of generation on the kinetic characteristics of kerogens is shown.

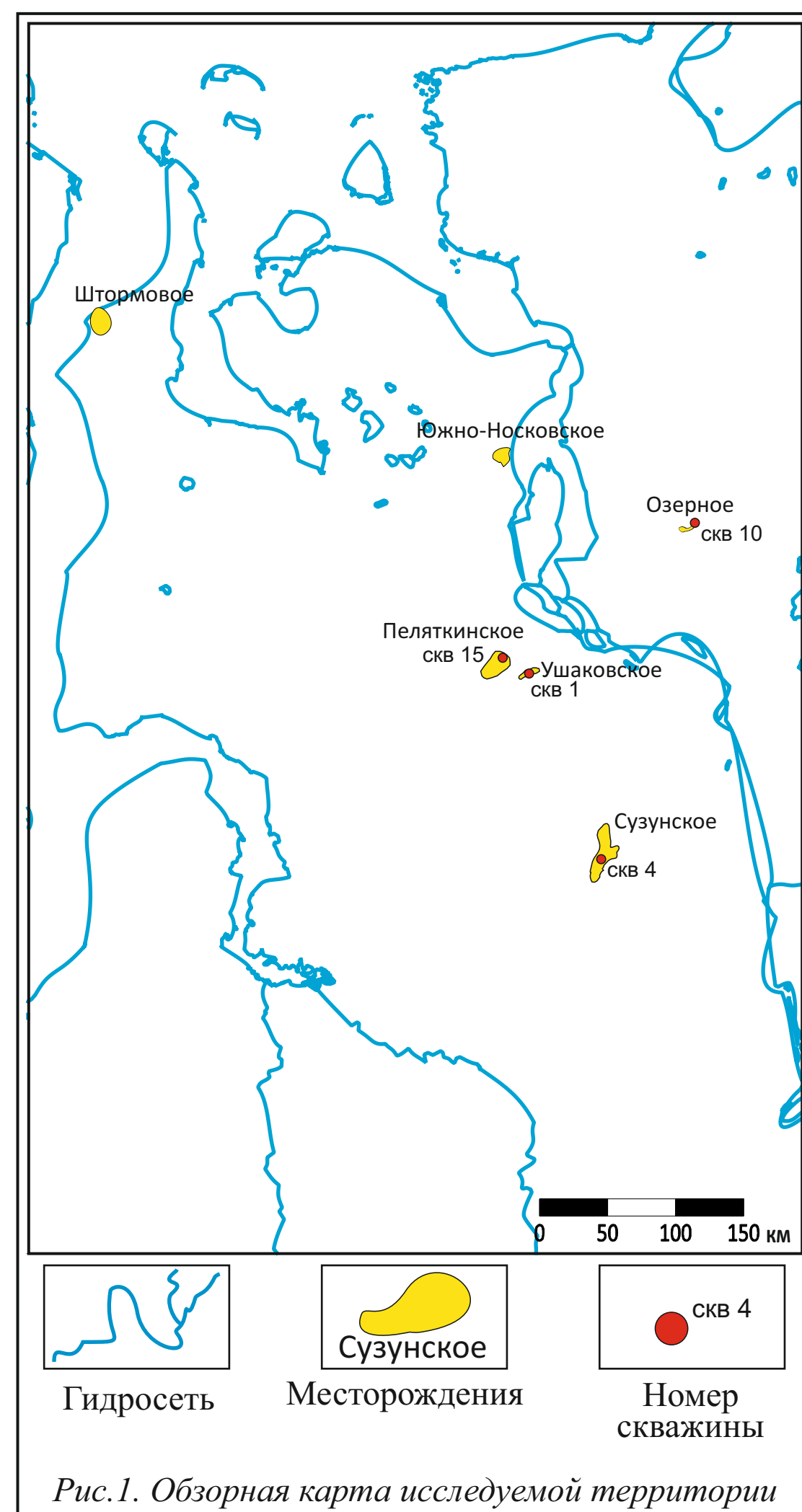
Key words: kerogens, Golchikha formation, Yanovstan formation, Bazhenov formation, kinetic characteristics.

Построение модели генерации углеводородов в осадочном чехле требует знаний о геохимии рассеянного органического вещества. Масштабы генерации и динамика генерации углеводородов существенно зависят от кинетических характеристик керогенов. Под кинетическими характеристиками авторы понимают частотные факторы в константах Аррениуса и распределение генерационного потенциала по энергиям активации.

Объектом исследования являлись керогены яновстанской и гольчихинской свит. В работе рассматривалась только часть этих свит, соответствующая баженовской свите - одной из основных нефтегазопроизводящих толщ Западно-Сибирского осадочного бассейна. По сложившимся представлениям кероген баженовской свиты центральных частей Западной Сибири является аквагенным и относится ко второму типу [1, 2, 3, 4] - Во многих системах моделирования его отождествляют с одним из наиболее хорошо изученных керогенов II типа (Menil-1 или -2 [5]). В ряде работ по моделированию, в качестве керогена фациальных аналогов баженовской свиты также принимался базовый II тип керогена, хоть и с уменьшенным начальным генерационным потенциалом. Согласно современным представлениям в северо-восточных районах бассейна керогены баженовского горизонта имеют смешанный тип с существенной долей аквагенного органического вещества. Кинетические характеристики органического вещества гольчихинской и яновстанской свит были определены авторами по результатам специализированных пиролитических исследований.

Кинетические характеристики органического вещества баженовской свиты обсуждались в ряде публикаций отечественных и зарубежных авторов [1, 2, 3, 4]. Обзор современных методов и алгоритмов определения кинетических характеристик керогенов наиболее полно представлены в ряде публикаций [5].

В качестве исходных данных использовались результаты пиролитических экспериментов четырех дебитуминизированных образцов из разреза гольчихинской свиты на Ушаковской и Пеляткинской площадях и яновстанской свиты на Сузунской и Озерной площадях (рис. 1). Образцы отбирались из гольчихинской свиты на Ушаковской и Пеляткинской площадях и яновстанской свиты на Сузунской и Озерной площадях (табл. 1).



Площадь	Фактическая глубина отбора керна, м	Свита	C _{орг} , %	T _{max} , °C	S ₂ , мг УВ/г породы	R ₀ , %
Сузунская 4	3220.25	яновстанская	2.63	430	130	0.62
Озерная 10	3109.45	яновстанская	1.77	431	145	
Ушаковская 1	3169.14	гольчихинская	4.1	430	125	0.64
Ушаковская 1	3078.72	гольчихинская	2.1	433	195	0.62
Пеляткинская 15	3151.45	гольчихинская	3.1	435	200	

Для всех образцов выполнялись серии пиролитических экспериментов с разными скоростями нагрева при 3, 10, 30, 50 °C в минуту. Образцы представляли собой дебитуминизированную породу дробленую в порошок. Результаты пиролитических экспериментов были представлены ненормированными кривыми, содержащими информацию о времени, температурах и сигнала пламени-ионизационного детектора. Схема обработки экспериментальных кривых выглядит следующим образом:

- Температурные данные переводились из шкалы Цельсия в шкалу Кельвина.
- Не учитываются хвостовые части пирогрмм.
- При необходимости данные проеживались до 150 значений, для корректного сравнения экспериментов с разными скоростями нагрева.
- Интенсивность выхода углеводородов при пироллизе нормировались на единичную массу.
- По кривым температура - интенсивность выхода углеводородов рассчитывалась функция с минимальным отклонением наименьшей положительной суммы квадратов от фактических пирогрмм.

Для получения кинетических характеристик была использован программный комплекс, разработанный в ИНГТ СО РАН [6].

В результате проведенных исследований были получены кинетические характеристики керогенов яновстанской и гольчихинской свит в северной части Западно-Сибирского осадочного бассейна. Для удобства выражения частотного фактора будет приводиться его десятичный логарифм. Поскольку образцы в двух скважинах принадлежат к яновстанской свите, а в трех других к гольчихинской (табл. 1), то и кинетические характеристики будут приведены для комплексов в целом.

В целом картина распределения генерационного потенциала по энергиям активации керогенов яновстанской и гольчихинской свит практически идентична (рис. 2). Значение частотного фактора Аррениуса для кинетического распределения яновстанской свиты составило $2.04 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$, а для гольчихинской $1.99 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}$. Максимальный пик распределения генерационного потенциала приходится на 58 ккал/моль и соответствует 52-60 %, у керогена гольчихинской свиты пик более высокий. Следующий по интенсивности пик на 60 ккал/моль соответствует 25-30 % генерационного потенциала. При этом у яновстанского и гольчихинского керогена достаточно широкое распределение генерационного потенциала от 50 до 72 ккал/моль, однако, за исключением двух основных пиков, остальное распределение вносит незначительный вклад в суммарный генерационный потенциал.

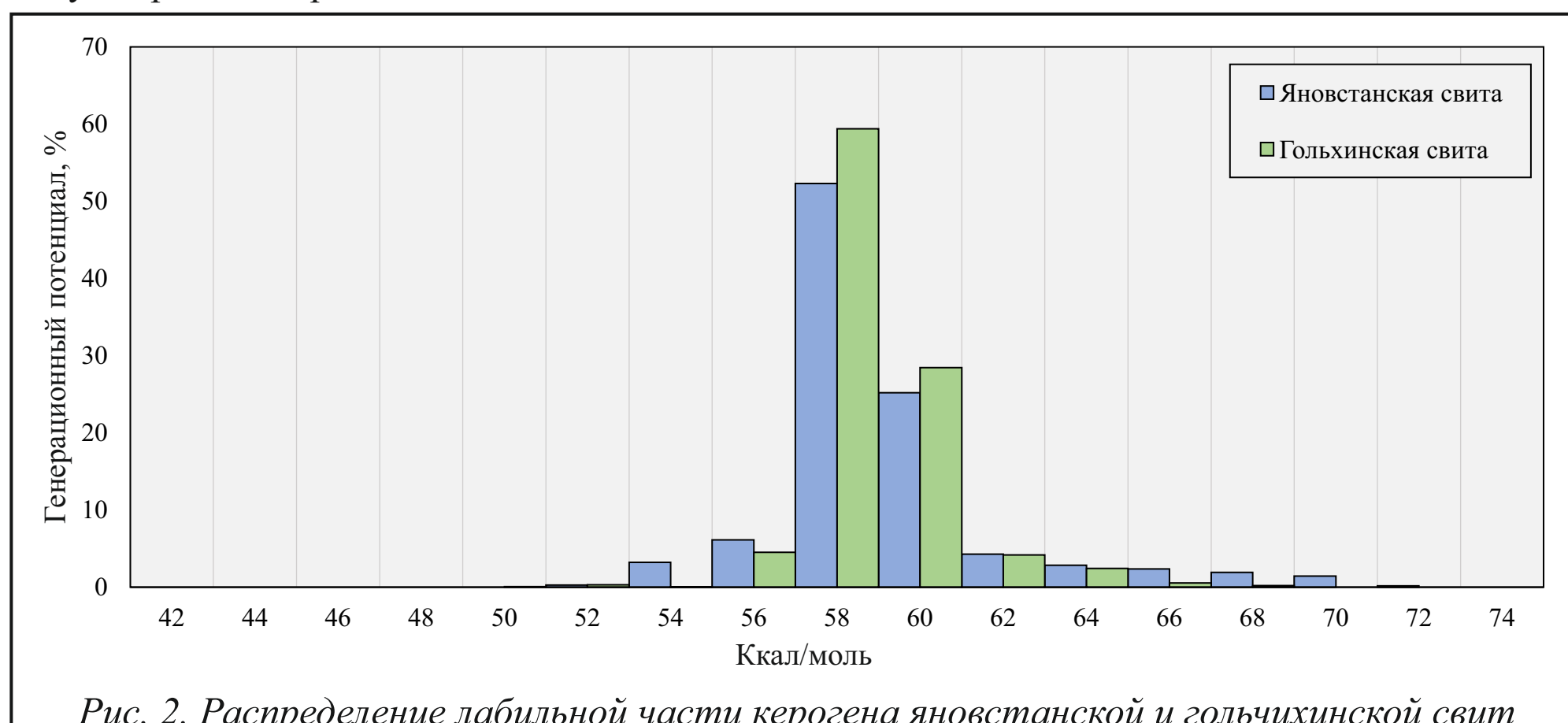


Рис. 2. Распределение лабильной части керогена яновстанской и гольчихинской свит

Из всех известных кинетических распределений керогенов, распределения, полученные для керогенов яновстанской и гольчихинской свит больше всего похожи на распределение генерационного потенциала керогена Brent [7] (TemisFlow). Пик распределения генерационного потенциала также приходится на 58 Ккал/моль, но распределение генерационного потенциала керогена Brent несколько более широкое (рис. 3). Максимальный генерационный потенциал у распределения керогена Brent несколько ниже, чем у яновстанского и гольчихинского керогена. В совокупности более высокий «пиковый» генерационный потенциал и узкое распределение Западно-Сибирских керогенов говорит о возможной преобразованности левой - головной части распределения.

Как говорилось выше, в работах по моделированию для этой и смежных территорий [1, 2, 3, 4, 8, 9] в качестве модели керогена верхнеюрских нефтегазопроизводящих комплексов использовался кероген II типа Menil-2 [5]. Кинетическое распределение керогена Menil-2 существенно отличается (рис. 3), как по характеру распределения, так и по значению частотного фактора. Пик распределения генерационного потенциала приходится на 52 Ккал/моль, а сама картинка распределения намного шире, чем у керогенов яновстанской и гольчихинской свит.

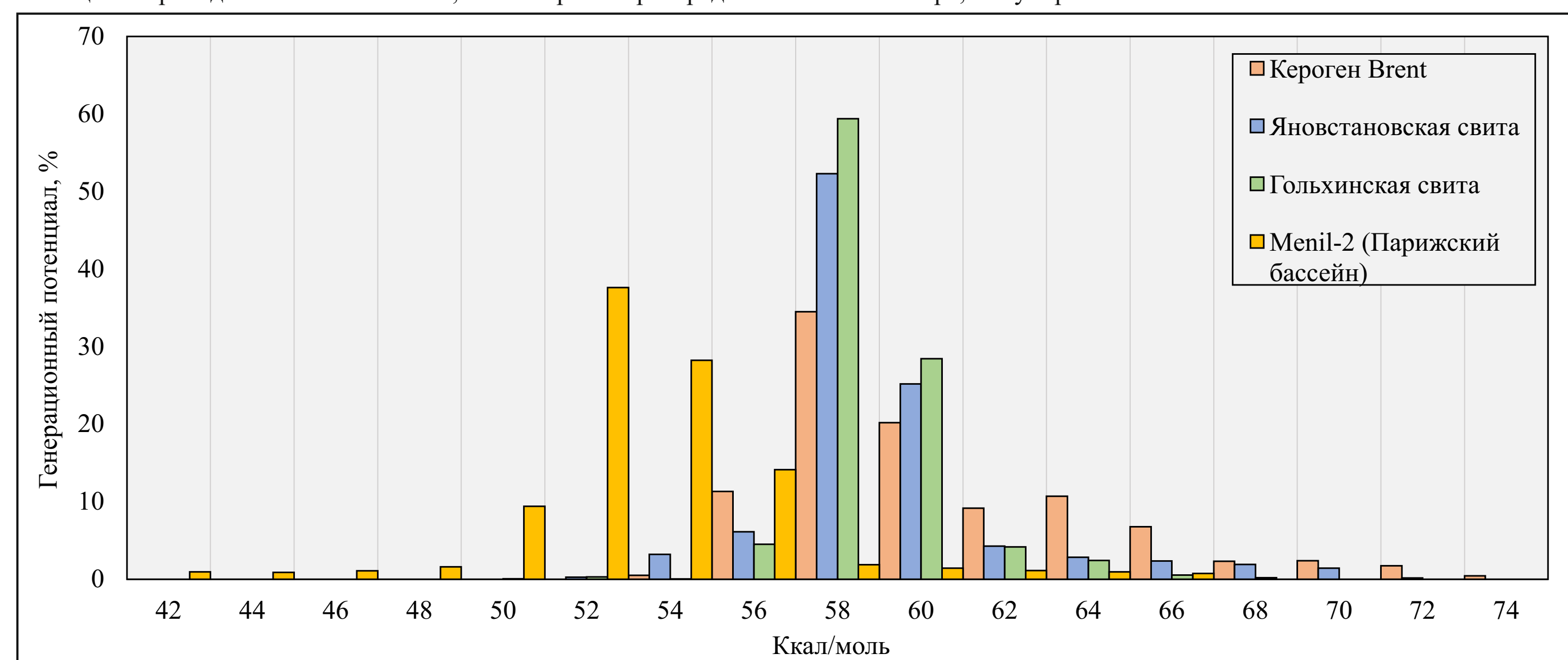


Рис. 3. Сравнение распределений лабильной части керогенов яновстанской, гольчихинской свит и керогенов Brent, Menil-2

Работа выполнена в рамках научных тем FWZZ-2022-0007 "Цифровая модель Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, седиментогенез и литостратиграфия, закономерности размещения нефтяных и газовых месторождений, детализированная количественная оценка ресурсов углеводородов в традиционных и нетрадиционных скоплениях, как основа прогноза развития нефтегазового комплекса" и FWZZ-2022-0011 "Органическая геохимия нефтепроизводящих пород и нефтяных, геохимические предпосылки нефтегазоносности протерозойских и фанерозойских осадочных бассейнов Сибири и Республики Саха (Якутия), включая Арктическую зону", Государственные программы ФНИ.

Влияние выбранной модели керогена на динамику и масштабы генерации исследовались на одномерных моделях разрезов конкретных скважин. Исследование выполнялось в три этапа. Первый шаг исследования - это выбор скважин и построение их одномерных моделей. Далее моделировался процесс созревания керогена и процесс генерации углеводородов со стандартным, для второго типа, керогеном - Menil-2. Заключительным этапом являлось численное моделирование генерации этими же нефтегазопроизводящими толщами, но с керогеном рассчитанным авторами для гольчихинской и яновстанской свит.

В качестве скважин для одномерного моделирования были выбраны четыре скважины с наиболее полным геолого-геохимическим описанием верхнеюрских нефтегазопроизводящих толщ: Штормовая 122, Южно-Носковская 318, Пеляткинская 15 и Озерная 10.

В пределах скважин реконструировалась история формирования разреза и температурная история. Калибровка тепловой истории производилась по современным температурам и показателям палеотермометров, в данном случае - отражательной способности витринита (рис. 4). Из рис. 4 видно, что калибровка термической истории проведена достаточно корректно.

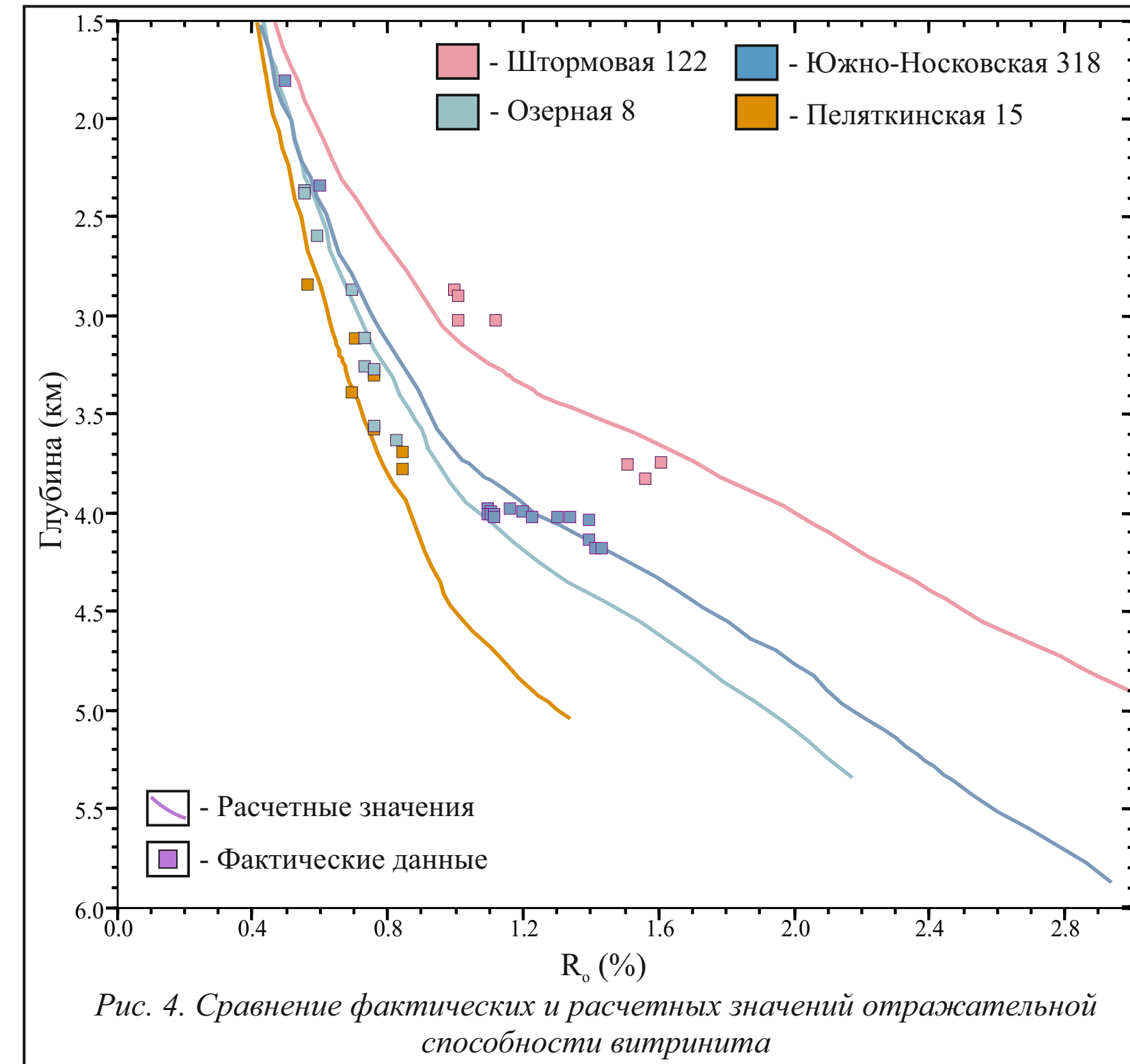


Рис. 4. Сравнение фактических и расчетных значений отражательной способности витринита

Рассчитывались масштабы и динамика генерации углеводородов с типом керогена Menil-2 и керогенами яновстанской и гольчихинской свит. Геохимические показатели начального генерационного потенциала и исходного содержания органического углерода в обоих случаях использовались одинаковые (таблица 2), для более наглядного сопоставления рассчитанных масштабов и динамики генерации.

Скважина	Н ₀ , мг УВ/г	C _{орг} , %	Н _т , мг УВ/г	C _{орг} , %
Штормовая 122	135	1,8	294	2,1
Пеляткинская 15	252	2,2	303	2,3
Южно-Носковская 318	145	0,8	250	1,2
Озерная 10	228	1,8	326	2

Скважина Озерная 10. По результатам моделирования динамики генерации с кинетическими характеристиками керогена Menil-2, яновстанская нефтегазопроизводящая толща начала генерировать углеводороды около 148 млн лет назад и достигла максимума интенсивности генерации около 80 млн лет назад (рис. 5). Кумулятивные масштабы генерации составили 913 тыс. тонн углеводородов на м².

При использовании кинетических характеристик "яновстанского" керогена генерация началась около 121 млн лет назад,

максимум интенсивности был достигнут 70 млн лет назад. Объем сгенерированных углеводородов составил 360 тыс. тонн на м². Разница реализации генерационного потенциала стандартного и расчетного керогена составила 61 %.

Скважина Штормовая 122. По результатам моделирования динамики генерации с кинетическими характеристиками керогена Menil-2, гольчихинская нефтегазопроизводящая толща начала генерировать УВ около 128 млн лет назад и достигла максимума интенсивности генерации около 79 млн лет назад. Кумулятивная генерация составила 610 тыс. тонн углеводородов на м² (рис. 5). Численное моделирование с кинетическими "гольчихинского" показало, что генерация началась 111,5 млн лет назад. Максимум интенсивности генерации углеводородов был достигнут 55 млн лет назад. Кумулятивные масштабы генерации углеводородов составили 362 тыс. тонн на м². Разница реализации генерационного потенциала стандартного и расчетного керогена составила 41 %.

Скважины Южно-Носковская 318. По результатам моделирования с использованием кинетических характеристик керогена Menil-2 генерация углеводородов началась около 141 млн лет назад и достигла максимума интенсивности 106 млн лет назад. Всего было сгенерировано около 806 тыс. тонн углеводородов на м² (рис. 6). По данным модели с кинетическими характеристиками "гольчихинского" керогена генерация углеводородов началась около 124 млн лет назад и достигла максимума интенсивности около 80 млн лет назад. Масштаб генерации образованных углеводородов равен 738 тыс. тонн на м². Разница реализации генерационного потенциала стандартного и расчетного керогена составила 9 %.

Скв. Пеляткинская 15. По расчетам с кинетическими характеристиками керогена Menil-2 генерация углеводородов началась 141 млн лет назад, максимум интенсивности генерации был достигнут 83,5 млн лет назад. Всего было сгенерировано около 675 тыс. тонн углеводородов на м² (рис. 6). Согласно результатам, полученным с использованием кинетических данных керогена гольчихинской свиты, толща начала генерировать углеводороды около 120 млн лет назад. Максимум интенсивности генерации широкий и приходится 49 млн лет назад. Масштаб генерации углеводородов равен 78 тыс. тонн на м². Разница реализации генерационного потенциала стандартного и расчетного керогена составила 89 %.

Результаты работы показали, что, как и следовало ожидать, сдвиг пика кинетического распределения в сторону увеличения, влияет на время начала и характер динамики генерации углеводородов в целом. Для кинетических моделей керогенов яновстанской и гольчихинской свит, из-за сдвига пика генерационного потенциала, наблюдается задержка начала генерации углеводородов на 17 - 42 млн лет. Совокупная генерация углеводородов, керогенами с такими кинетическими характеристиками, более растянута по времени в отличие от стандартного керогена II типа. Что в свою очередь показательно отражается в масштабах генерации и реализации генерационного потенциала. Разница достигает 89 %. Однако, в скважине Южно-Носковская 318, кумулятивная реализация генерационного потенциала различается только на 9%, что говорит о высокой степени преобразованности органического вещества. Такая преобразованность обусловлена существенными глубинами залегания нефтегазопроизводящего комплекса и повышенными значениями эффективного теплового потока.

Результаты работы показали, что, сдвиг пика кинетического распределения в сторону увеличения, влияет на время начала и характер динамики генерации углеводородов в целом. Совокупная генерация УВ, керогенами яновстанской и гольчихинской свит, более растянута по времени в отличие от стандартного керогена II типа. Что в свою очередь отражается в масштабах генерации и реализации генерационного потенциала.

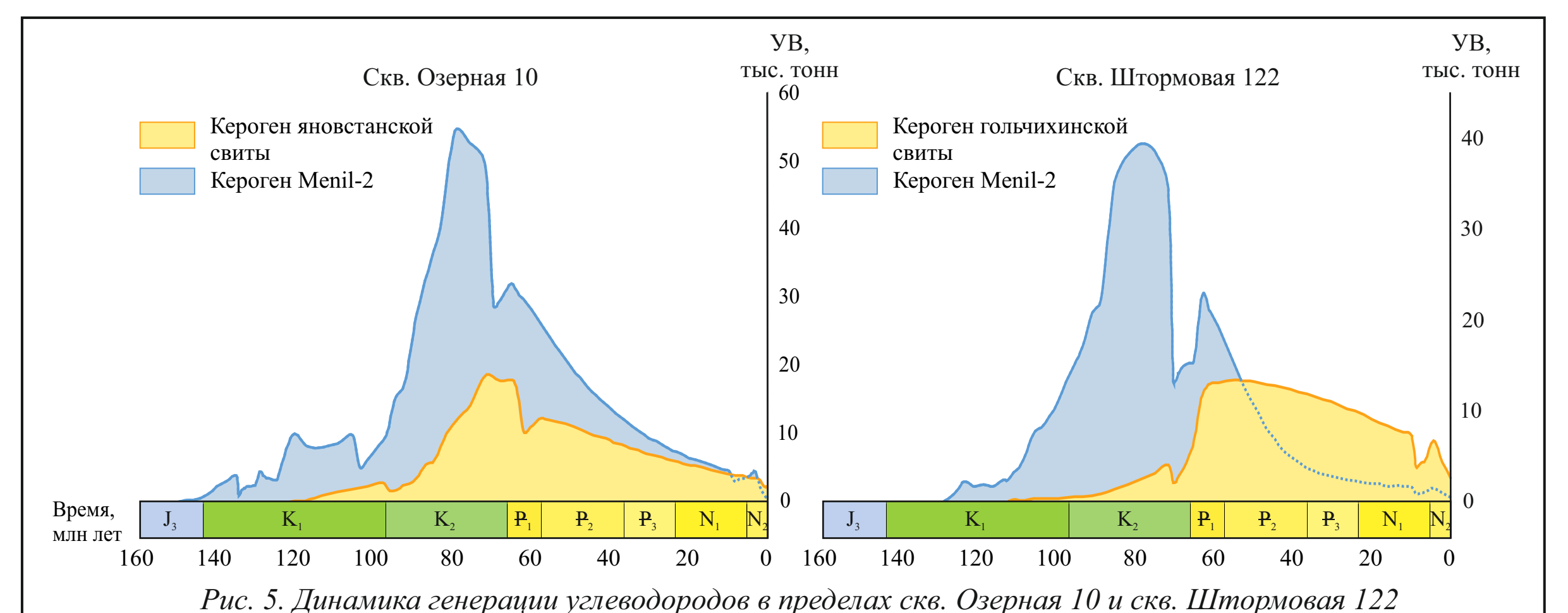


Рис. 5. Динамика генерации углеводородов в пределах скв. Озерная 10 и скв. Штормовая 122

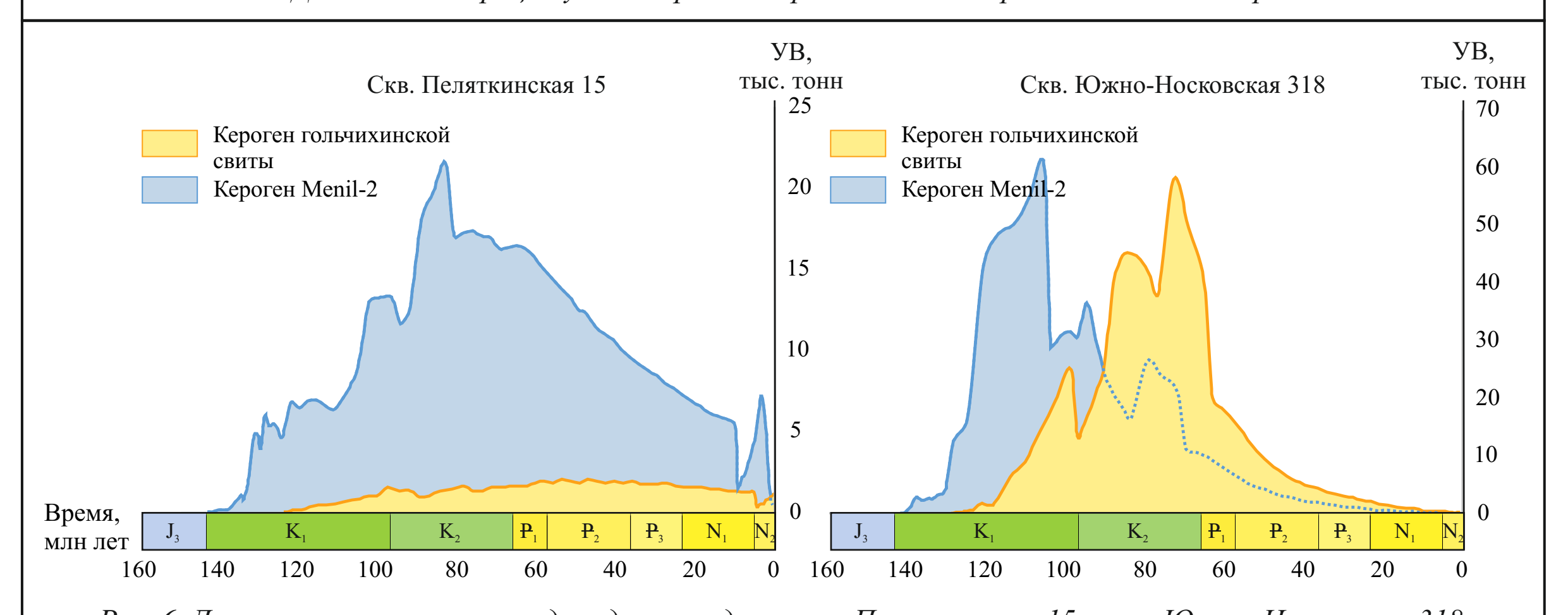


Рис. 6. Динамика генерации углеводородов в пределах скв. Пеляткинская 15 и скв. Южно-Носковская 318

Список литературы

1. Charging the giant gas fields of the NW Siberia basin / E. Fjellanger, A. E. Kontorovich, L. M. Burshtein [et al.] // Petroleum Geology Conference Proceedings. - 2010. - Vol. 7. - P. 659-668. - DOI 10.1144/0070659.
2. Сафронов, П.И. Моделирование процессов генерации, миграции и аккумуляции углеводородов в породах и меловых комплексах Енисей-Хатангского бассейна / П.И. Сафронов, С.В. Ершов, Н.С. Ким, А.Н. Фомин // Геология нефти и газа. - 2011. - № 5 - С. 48 - 55.
3. Конторович, А.Э. Историко-геологическое моделирование процессов нефтегазообразования в мезозойско-кайнозойском осадочном бассейне Карского моря / А.Э. Конторович, Л.М. Бурштейн, Н.А. Мальшев, П.И. Сафронов, С.А. Гуськов, С.В. Ершов, В.А. Казаненко, Н.С. Ким, В.А. Конторович, Е.А. Костырева, В.Н. Меленский, В.Р. Лившиц, А.А. Поляков, М.Б. Скворцов // Геология и геофизика. - 2013. - Т. 54. - № 8. - С. 1179-1226.
4. Дешин, А.А., Бурштейн Л.М. Оценка масштабов генерации углеводородов в средне-верхнеюрских отложениях севера Западной Сибири [Электронный ресурс] / А.А. Дешин, Л.М. Бурштейн // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2018. - Т.13. Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/11/30_2018.pdf
5. Behar, F. Thermal cracking of kerogen in open and closed systems: determination of kinetic parameters and stoichiometric coefficients for oil and gas generation / F. Behar, M. Vandenbergue, Y. Tang, F. Marquis, J. Espitalie // Organic Geochemistry. - 1997. - Vol. 26. - № 5 - 6. - Pp. 321 - 339.
6. Козырев А.Н., Бурштейн Л.М. Программа расчета кинетических параметров керогена: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ / А.Н. Козырев, // № 2018665046, заявка № 2018662159 от 02.11.2018, зарегистрировано 29.11.2018, RU
7. Vandenbergue, M. Kinetic modelling of petroleum formation and cracking: Implications from the high pressure/high temperature Elgin Field (UK, North Sea) / M Vandenbergue, F. Behar, J. L. Rudkiewicz // Organic Geochemistry. - 1999. - Vol. 30(9) - Pp. 1105 - 1125.
8. Дешин, А.А. Оценка времени реализации главной фазы нефтеобразования в средне-верхнеюрских отложениях севера Западной Сибири / А.А. Дешин, П.И. Сафронов, Л.М. Бурштейн // Геология нефти и газа. - 2017. - № 4. - С. 33 - 44
9. Deshin, A.A. Reconstruction of hydrocarbon generation and accumulation on the Gydan Peninsula and adjacent offshore areas using basin modeling approach [Электронный ресурс] / A.A. Deshin, P.I. Safranov, L.M. Burshtein // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. The Fifth All-Russian Conference with International Participation "Polar Mechanics" (Novosibirsk, Russian Federation, 9-11 October 2018). - 2018. - Vol. 193. - Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/193/1/012016/pdf>.