МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМПЕРАТРИЦЫ ЕКАТЕРИНЫ II»
Кафедра геологии нефти и газа

Кинетические характеристики керогена нефтегазоматеринских малышевской и гольчихинской свит западной части Енисей-Хатангского прогиба

Докладчик: аспирант гр. ГНГ-24а Яшмолкин Арслан Маратович
Научный руководитель: доцент, к.г.-м.н. Нефедов Ю.В.

e-mail: Yashmolkin_AM@pers.spmi.ru
тел.: +7 980 915-30-15

XXX научно-практическая конференция «Пути реализации нефтегазового потенциала Западной Сибири» · Ханты-Мансийск, 10–12 ноября 2026 г. · Секция стендовых докладов и интернет-стендов

1 Постановка задачи

Гольчихинская (верхний бат – нижний берриас) и малышевская (байос – бат) свиты относятся к основным нефтегазоматеринским толщам (НГМТ) западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба (ЕХРП) [1, 2].

Обе свиты неоднородны по генезису органического вещества (ОВ). В верхней части гольчихинской свиты преобладает кероген II типа, в нижней III типа [2]. Из 24 изученных битумоидов свиты 20 отвечают ОВ морского генезиса, а 4 гумусовому ОВ нижней части разреза [3]. На периферии прогиба преобладает терригенное ОВ [4]. Малышевская свита в основном газогенерационная, HI обычно не выше 150 мг УВ/г $C_{орг}$ [2].

Опубликованные кинетические спектры керогена [2, 5] служили исходными данными для бассейнового моделирования. Их форму с генезисом ОВ не сопоставляли, а в региональных одномерных моделях ОВ всех НГМТ отнесено к III типу [2, табл. 2].

Цель работы. Количественно охарактеризовать форму кинетических спектров гольчихинской и малышевской свит, сопоставить её с биомаркерными параметрами и оценить, как неоднородность ОВ влияет на интервал генерации углеводородов (УВ).

2 Материалы и методы

- **Спектры энергий активации Ea** получены А.Л. Петровым (ВНИГНИ) на Rock-Eval 6 при скоростях нагрева 2–25 °C/мин, расчёт в OptKin [2]. Изучены три образца гольчихинской свиты и единственный опубликованный образец малышевской свиты (Новая 2).
- **Генезис ОВ** оценён по биомаркерам битумоидов ($\delta^{13}C$, Pr/Ph, стераны C_{27}–C_{29}) [3].
- **Форма спектра** описана долей потенциала в главном интервале Ea и стандартным отклонением σEa.
- **Геологический масштаб.** Нагрев 2 °C/млн лет, расчётная отражательная способность витринита Ro по EasyRo [6]. Ro_{10} и Ro_{90} соответствуют степени преобразования керогена TR 10 и 90 %, $\Delta Ro = Ro_{90} - Ro_{10}$ показывает ширину интервала генерации.
- **Смеси морского и гумусового ОВ.**

$$TR = (1 - w)\cdot TR_м + w\cdot TR_г$$
$$w \approx (x - 0{,}37) / (0{,}59 - 0{,}37),\ x = C_{29}/(C_{27}+C_{28}+C_{29})$$

w — доля гумусового ОВ в генерационном потенциале. 0,37 и 0,59 — средние x для образцов гольчихинской и малышевской свит (таблица).

- **Исходный потенциал.** Образцы катагенетически незрелые: T_{max} 430–435 °C, степень преобразования по самим спектрам 2–4 % [2, 5]. Спектры отражают практически полный исходный генерационный потенциал.

Значение для бассейнового моделирования. Если всей гольчихинской свите задать спектры её верхней части, для интервалов с гумусовым ОВ (низы разреза, периферия прогиба) окончание генерации занижается на 0,1–0,7 % Ro. Если же задать кинетику гумусового ОВ, генерация морского ОВ в расчёте растягивается примерно до Ro 2 %.

3 Кинетические спектры

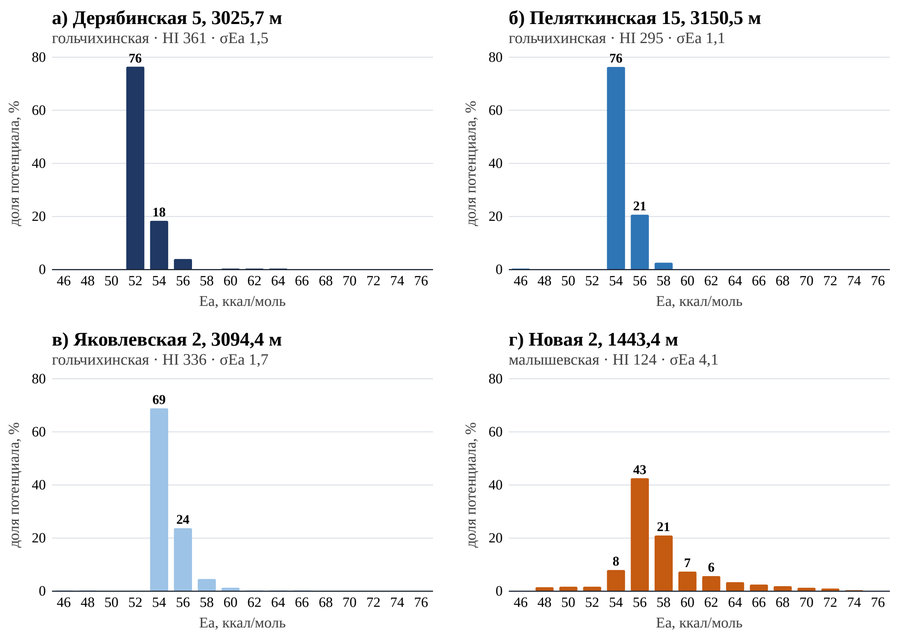


Рис. 1. Спектры Ea керогена гольчихинской (а–в) и малышевской (г) свит (по данным [2]). HI в мг УВ/г $C_{орг}$, σEa в ккал/моль.

Морское ОВ · гольчихинская свита

69–76 %
потенциала при 52–54 ккал/моль

σEa 1,1–1,7
низко- и высокоэнергетических частей почти нет (≤ 0,6 и ≤ 2,2 %)

ΔRo 0,38–0,46
генерация в узком интервале Ro 0,76–1,28 %

Гумусовое ОВ · малышевская свита

43 %
потенциала в главном интервале 56 ккал/моль

σEa 4,1
24 % потенциала приходится на 60–74 ккал/моль

ΔRo 1,37
90 % преобразования только при Ro 2,19 %

Скважина, глубина, м	Свита	HI	$\delta^{13}C$, ‰	Pr/Ph	$C_{27}/C_{28}/C_{29}$	x̄	Главный интервал Ea (доля, %)	σEa	Ro_{10}–Ro_{90} (ΔRo), %
Дерябинская 5, 3025,7	гольч.	361	−32,5	2,14	0,32/0,31/0,37		52 (76)	1,5	0,76–1,14 (0,38)
Пеляткинская 15, 3150,5	гольч.	295	−31,6	2,08	0,31/0,30/0,39	0,37	54 (76)	1,1	0,83–1,25 (0,41)
Яковлевская 2, 3094,4	гольч.	336	−31,0*	3,66*	0,37/0,29/0,34*		54 (69)	1,7	0,82–1,28 (0,46)
Новая 2, 1443,4	малыш.	124	−25,2… −27,1**	2,7–5,7**	C_{29}: 0,57–0,62**	0,59	56 (43)	4,1	0,81–2,19 (1,37)

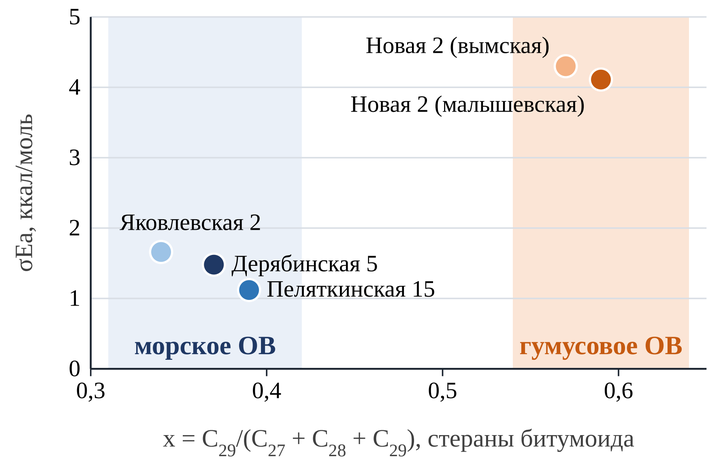
Таблица. Кинетические и биомаркерные характеристики образцов (по данным [2, 3]). HI в мг УВ/г $C_{орг}$, Ea и σEa в ккал/моль. * образец 3091,3 м. ** значения по свите в скважинах западной части ЕХРП (n = 5) [3]. x̄ — средняя доля C_{29} в регулярных стеранах по группе образцов.

Перспективы: четырёхкомпонентная кинетика

Спектры пиролитической газовой хроматографии [10] показывают, какие УВ выделяются в каждом интервале Ea: метан C_1, газы C_2–C_5, лёгкие C_6–C_{15} и тяжёлые C_{16+} жидкие УВ.

Такие исследования образцов гольчихинской и малышевской свит проводит автор. Они позволят установить последовательность выхода компонентов, проверить газовую природу высокоэнергетической части гумусового спектра и отделить вклад остаточного битумоида.

4 Спектры и условия накопления ОВ



x = $C_{29}/(C_{27} + C_{28} + C_{29})$, стераны битумоида

Рис. 2, а. Доля стеранов C_{29} в битумоиде и ширина спектра σEa. Вымская свита (Новая 2) показана для сравнения.

Ширина спектра растёт с долей стеранов C_{29}. При x 0,34–0,39 σEa не превышает 1,7 ккал/моль, при 0,57–0,62 достигает 4,1–4,3 ккал/моль.

1. **Состав биомассы.** Кероген планктоногенного и бактериального ОВ богат алифатическими структурами с близкой прочностью связей. Остатки высших растений дают конденсированные ароматические структуры, которые разлагаются при более высоких Ea [7, 8].
2. **Обстановка диагенеза.** В окислительных условиях малышевской свиты (Pr/Ph до 5,7) липиды разрушаются и доля ароматики растёт. Отсутствие низкоэнергетической части у гольчихинских спектров согласуется с невысоким содержанием серы в керогене [9].
3. **Смешение ОВ.** Битумоид Дерябинской 5 содержит н-алканы наземного облика [3], но спектр остаётся узким. Потенциал определяется аквагенной составляющей.

5 Неоднородность ОВ и интервал генерации

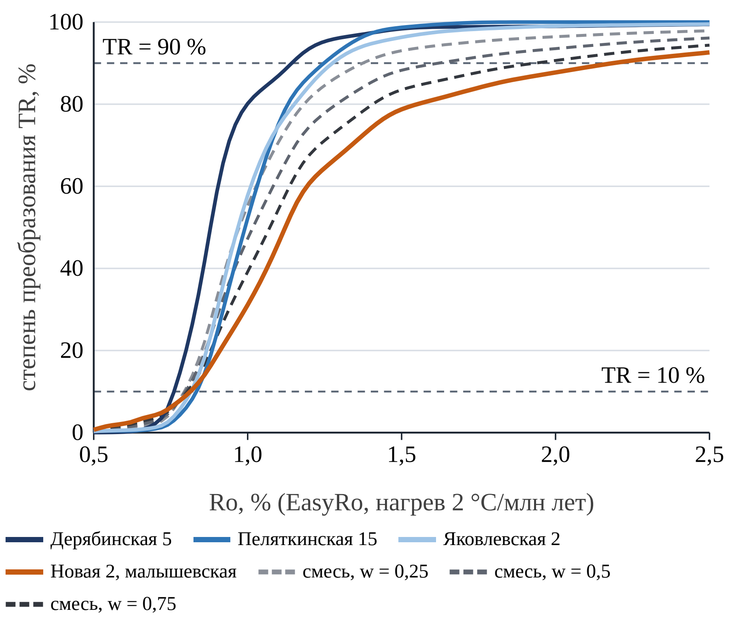


Рис. 2, б. Степень преобразования керогена и смесей морского и гумусового ОВ (w — доля гумусового ОВ) в зависимости от Ro.

Начало генерации от типа ОВ почти не зависит: TR 10 % достигается при Ro 0,76–0,83 %. К Ro 1,3 % гольчихинский кероген преобразован на 91–96 %, малышевский только на 68 %. В смесях окончание генерации смещается почти пропорционально доле гумусового ОВ.

w	0	0,1	0,25	0,5	0,75	1
Ro_{90}, %	1,23	1,28	1,37	1,62	1,93	2,19

Выводы

1. Спектры морского ОВ гольчихинской свиты узкие: 69–76 % потенциала при 52–54 ккал/моль, σEa 1,1–1,7 ккал/моль. Спектр гумусового ОВ малышевской свиты широкий: σEa 4,1 ккал/моль, 24 % потенциала при 60–74 ккал/моль.
2. Особенности спектров определяются прежде всего составом исходной биомассы и обстановкой диагенеза. Ширина спектра растёт с долей стеранов C_{29}.
3. Начало генерации от типа ОВ практически не зависит (Ro 0,76–0,83 %). Окончание смещается от Ro 1,1–1,3 % у морского до 2,2 % у гумусового ОВ, а в смесях растёт с долей гумусового ОВ. Кинетику неоднородной свиты следует задавать по фациальным зонам с учётом доли гумусового ОВ по биомаркерам.
4. Спектр характеризует тип ОВ интервала, а не свиту в целом.

Список литературы

1. Гольчихинская свита (верхи бата – низы бореального берриаса) Енисей-Хатангского прогиба (запад Северо-Сибирской низменности) / Б. Л. Никитенко, В. П. Девятов, А. П. Родченко [и др.]. — Текст : непосредственный // Геология и геофизика. — 2020. — Т. 61, № 4. — С. 508–526.
2. Петров, А. Л. Генетические предпосылки нефтегазоносности палеозойских и мезозойских отложений северного обрамления Сибирской платформы : специальность 1.6.11 «Геология, поиски, разведка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» : диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Петров Александр Леонидович ; Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт. — Москва, 2024. — 160 с. — Текст : непосредственный.
3. Афанасенков, А. П. Углеводороды-биомаркеры и изотопный состав углерода битумоидов и нефтей мезозойских отложений западной части Енисей-Хатангской нефтегазоносной области / А. П. Афанасенков, Т. П. Жеглова, А. Л. Петров. — DOI 10.18599/grs.2019.1.47-63. — Текст : непосредственный // Георесурсы. — 2019. — Т. 21, № 1. — С. 47–63.
4. Родченко, А. П. Кероген верхнеюрских отложений западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба / А. П. Родченко. — DOI 10.31857/S0016752522080076. — Текст : непосредственный // Геохимия. — 2022. — Т. 67, № 8. — С. 750–765.
5. Дешин, А. А. Влияние кинетических параметров керогенов на динамику и масштабы генерации углеводородов на примере верхнеюрских нефтегазопроизводящих толщ северо-востока Западной Сибири / А. А. Дешин, С. А. Язикова. — DOI 10.33764/2618-981X-2021-2-1-52-61. — Текст : непосредственный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. — 2021. — Т. 2, № 1. — С. 52–61.
6. Sweeney, J. J. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics / J. J. Sweeney, A. K. Burnham. — Text : direct // AAPG Bulletin. — 1990. — Vol. 74, no. 10. — P. 1559–1570.
7. Tegelaar, E. W. Kinetics of hydrocarbon generation as a function of the molecular structure of kerogen as revealed by pyrolysis-gas chromatography / E. W. Tegelaar, R. A. Noble. — Text : direct // Organic Geochemistry. — 1994. — Vol. 22, no. 3–5. — P. 543–574.
8. Pepper, A. S. Simple kinetic models of petroleum formation. Part I : Oil and gas generation from kerogen / A. S. Pepper, P. J. Corvi. — Text : direct // Marine and Petroleum Geology. — 1995. — Vol. 12, no. 3. — P. 291–319.
9. Orr, W. L. Kerogen/asphaltene/sulfur relationships in sulfur-rich Monterey oils / W. L. Orr. — Text : direct // Organic Geochemistry. — 1986. — Vol. 10, no. 1–3. — P. 499–516.
10. Особенности кинетики термического преобразования органического вещества баженовской и доманиковой толщ на основе результатов пиролитической хроматографии / С. В. Можегова, Р. С. Герасимов, И. Л. Пайзанская [и др.]. — Текст : непосредственный // Записки Горного института. — 2024. — Т. 269. — С. 765–776.