

УДК 553.98.061.17

DOI 10.31087/0016-7894-2020-3-51-59

Новый подход к кинетическим исследованиям органического вещества баженовской свиты

© 2020 г. | Р.С. Кашапов^{1,2}, И.В. Гончаров^{1,2}, Н.В. Обласов¹, В.В. Самойленко¹, П.В. Трушков¹, С.В. Фадеева^{1,2}¹АО «ТомскНИПИнефть», Томск, Россия; KashapovRS@tomsknpi.ru; GoncharovIV@tomsknpi.ru; ObblasovNV@tomsknpi.ru; SamoilenkoVV@tomsknpi.ru; TrushkovPV@tomsknpi.ru; FadeevaSV@tomsknpi.ru;²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, Россия

Поступила 10.03.2020 г.

Доработана 12.03.2020 г.

Принята к печати 16.03.2020 г.

Ключевые слова: кинетика; баженовская свита; катагенез; Западная Сибирь; пиролиз; органическое вещество.

Аннотация: Кинетические исследования являются неотъемлемой составляющей бассейнового моделирования. От того, насколько корректно определены кинетические параметры органического вещества, зависит точность оценки времени начала генерации углеводородов и их объема. В данной статье, с использованием результатов кинетических исследований образцов пород баженовской свиты различной степени термической зрелости, установлена зависимость между значениями константы Аррениуса и энергии активации. На ее основе выполнен расчет кинетических спектров для выборки образцов, отражающих ход реализации генерационного потенциала в процессе термической эволюции. Предложен подход к объединению полученных спектров в единый, позволяющий учитывать процессы поликонденсации органического вещества в ходе катагенеза. По результатам сопоставления реализации генерационного потенциала полученного кинетического спектра с кинетическими моделями из различных литературных источников можно сделать вывод о перспективности нового подхода к кинетическим исследованиям.

Для цитирования: Кашапов Р.С., Гончаров И.В., Обласов Н.В., Самойленко В.В., Трушков П.В., Фадеева С.В. Новый подход к кинетическим исследованиям органического вещества баженовской свиты // Геология нефти и газа. – 2020. – № 3. – С. 51–59. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-3-51-59.

Organic Matter of Bazhenov formations: new approach to kinetic studies

© 2020 | R.S. Kashapov^{1,2}, I.V. Goncharov^{1,2}, N.V. Obblasov¹, V.V. Samoilenko¹, P.V. Trushkov¹, S.V. Fadeeva^{1,2}¹TomskNIPIneft, Tomsk, Russia; KashapovRS@tomsknpi.ru; GoncharovIV@tomsknpi.ru; ObblasovNV@tomsknpi.ru; SamoilenkoVV@tomsknpi.ru; TrushkovPV@tomsknpi.ru; FadeevaSV@tomsknpi.ru;²Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Received 10.03.2020

Revised 12.03.2020

Accepted for publication 16.03.2020

Key words: kinetic; Bazhenov formation; catagenesis; Western Siberia; pyrolysis; Organic Matter.

Abstract: Kinetic studies are an integral part of basin modelling. The accuracy of estimation of hydrocarbon generation start time and hydrocarbon amount depends on the proper definition of Organic Matter kinetic parameters. In this work, the results of kinetic studies of the Bazhenov Formation rock samples having different level of organic maturation are used to determine a dependence between the values of the Arrhenius constant and activation energy. This dependence was a basis for calculation of kinetic spectra for samples representing the course of generation potential realization in the process of thermal evolution. The authors propose an approach for combining the obtained spectra into a single one that allows accounting for the processes of Organic Matter polycondensation during the course of catagenesis. Comparing the results of generation potential realization of the obtained kinetic spectrum with kinetic models from various published sources, it is possible to draw a conclusion about the potential of a new approach to kinetic research.

For citation: Kashapov R.S., Goncharov I.V., Obblasov N.V., Samoilenko V.V., Trushkov P.V., Fadeeva S.V. Organic Matter of Bazhenov formations: new approach to kinetic studies. *Geologiya nefi i gaza*. 2020;(3):51–59. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-3-51-59. In Russ.

Введение

В настоящее время для кинетических исследований используют потенциально материнскую породу, находящуюся на стадии вступления в «нефтяное окно». В процессе ее пиролиза при различных скоростях нагрева получают кривые зависимости генерации УВ от температуры. Математическая обработка этих зависимостей с применением регрессионного анализа и основного уравнения химической кинетики — уравнения Аррениуса — позволяет построить

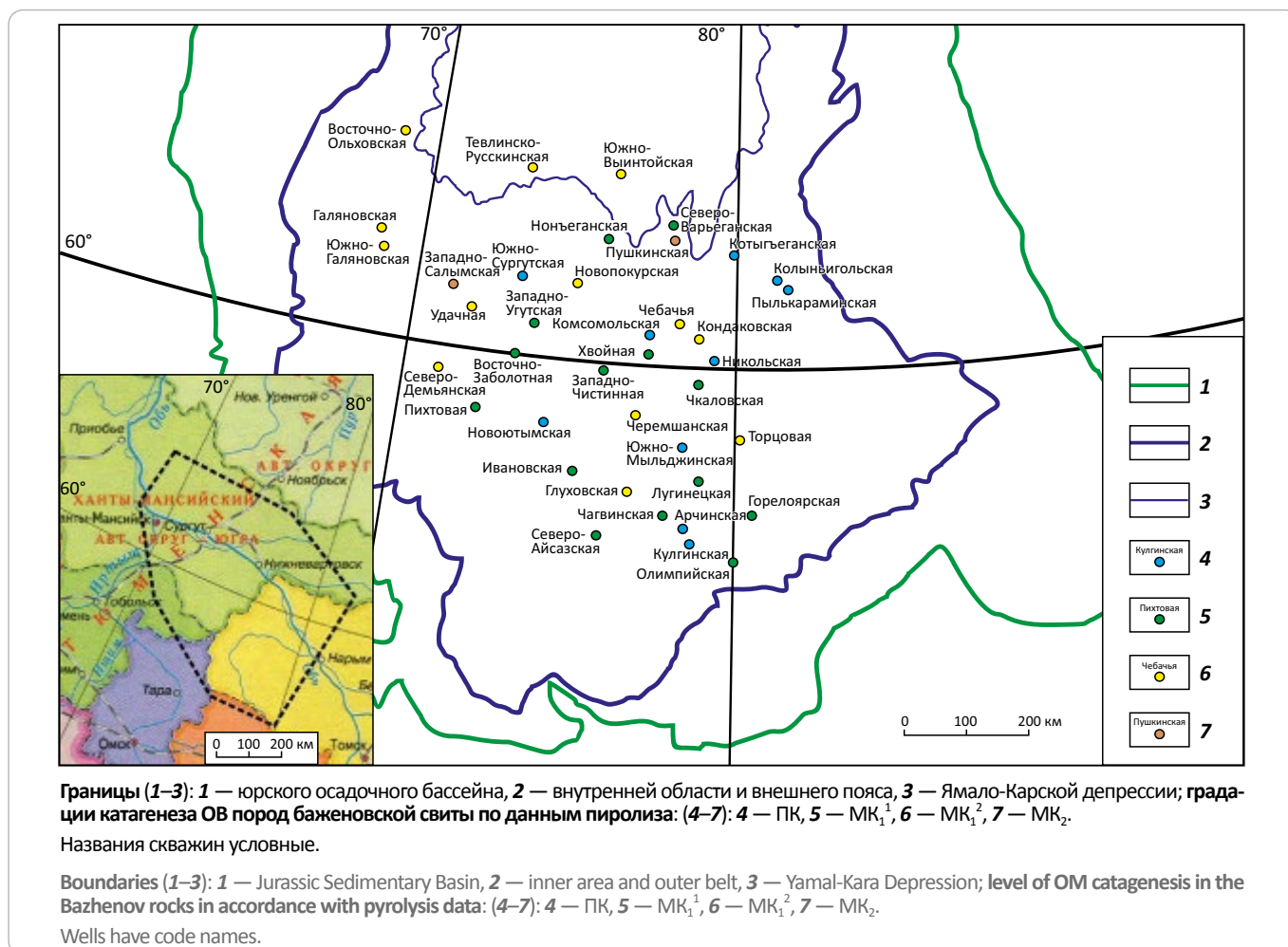
кинетический спектр распределения генерационного потенциала по энергиям активации. Применение к этим спектрам геологических скоростей нагрева дает возможность количественно оценить генерацию УВ материнской породой в течение миллионов лет.

В классическом подходе к кинетическим исследованиям [1] пиролитическая деструкция ОВ рассматривается как серия однотипных химических реакций I порядка с одинаковым значением константы Аррениуса для всех энергий активации. Развитие



GEOCHEMICAL SURVEYS

Рис. 1. Схема расположения скважин, из которых были отобраны образцы пород баженовской свиты для кинетических исследований [6]
Fig. 1. Location map, wells where the Bazhenov rock samples were taken from for kinetic studies [6]



представлений и изучение кинетики серий однотипных химических реакций позволило исследователям [2, 3] выявить корреляционную зависимость между значениями константы Аррениуса и энергии активации:

$$E_a = \alpha + \beta \cdot \log A, \quad (1)$$

где E_a — энергия активации, ккал/моль¹; α и β — положительные константы; A — константа Аррениуса, с⁻¹.

Однако многие исследователи считают, что при классическом подходе формула (1) не учитывается [4, 5].

Целью статьи является создание нового подхода к кинетическим исследованиям, в котором используется формула (1) и результаты пиролиза одной и той же материнской породы на различных этапах термической зрелости (катагенеза).

Фактический материал и методы исследований

Для проведения кинетических экспериментов авторами изучен 81 образец керны из разреза баженовской свиты 39 скважин, расположенных на территории Западной Сибири (рис. 1).

¹1 ккал = 4,1868 кДж.

новской свиты 39 скважин, расположенных на территории Западной Сибири (рис. 1).

Образцы анализировались на приборе Rock-Eval 6 Turbo в цикле Optkin при трех скоростях нагрева — 5, 15 и 25 °С/мин. Для обработки результатов пиролиза и расчета кинетических параметров использовалась лицензионная программа Optkin французской фирмы Veicip Franlab, а также математический алгоритм, описанный Р.С. Кашаповым и др. [7].

Обсуждение результатов

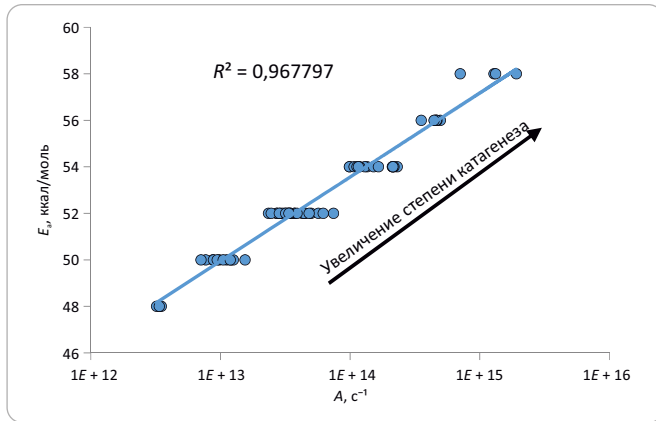
В литературе отсутствует информация о том, каким образом зависимость (1) может быть получена для процесса пиролитической деструкции ОВ, но по результатам кинетического моделирования (рис. 2) авторы статьи вывели формулу

$$E_a = 2,957029 + 1,569756 \cdot \ln A. \quad (2)$$

По результатам изучения единичных образцов пород баженовской свиты невозможно достоверно имитировать природный процесс, так как не в полной мере учитываются процессы поликонденса-

Рис. 2. Зависимость значений энергии активации от значений константы Аррениуса для образцов пород баженовской свиты различной степени термической зрелости

Fig. 2. Activation energy values as a function of Arrhenius constant values for the Bazhenov rock samples having different thermal maturity



ции [7, 8]. Поэтому не имеет смысла пытаться построить полноценную кинетическую модель, основываясь на данных исследования одного образца.

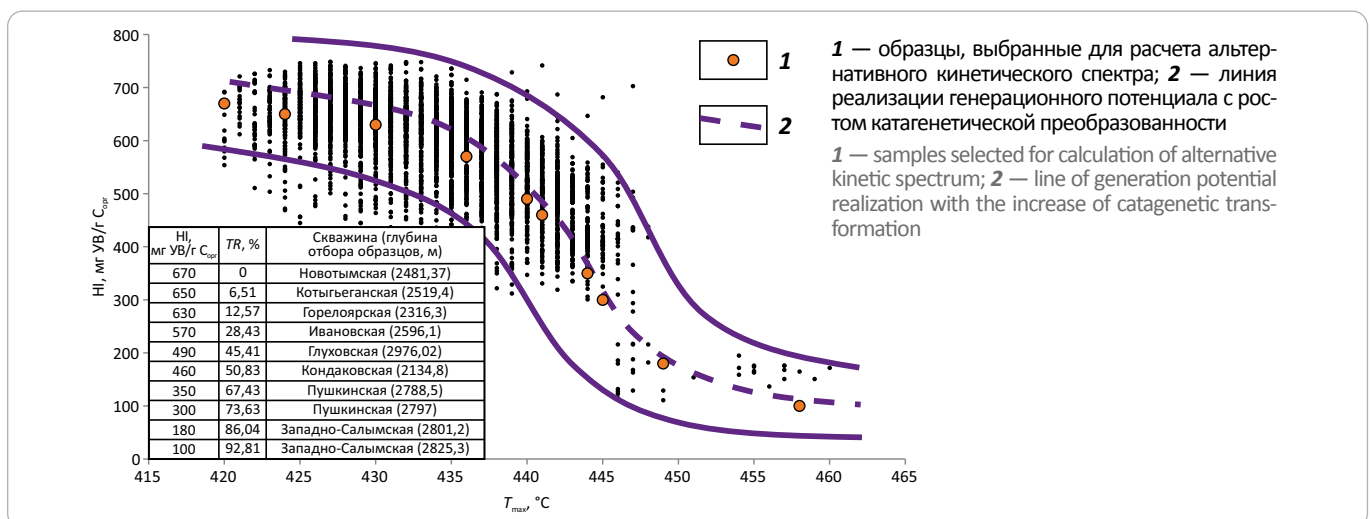
Для отбора образцов пород различной степени термической зрелости использован график зависимости HI от T_{max} (рис. 3). Массив экспериментальных данных для этой диаграммы содержит результаты пиролитических исследований около 5000 образцов пород баженовской свиты. По ней можно проследить реализацию генерационного потенциала с ростом катагенетической преобразованности и оценить степень трансформации ОВ по формуле [9]

$$TR = (1 - HI/HI_0) / (1 - HI / 1200) \cdot 100, \quad (3)$$

где TR — степень трансформации ОВ, %; HI — современное значение водородного индекса, мг УВ/г $C_{орг}$; HI_0 — начальное значение водородного индекса, мг УВ/г $C_{орг}$.

Рис. 3. График зависимости HI от T_{max} для образцов пород баженовской свиты

Fig. 3. HI – T_{max} curves for samples of the Bazhenov rocks



Перед тем как приступить к расчетам на основе формулы (2), важно определиться в каком интервале значений энергии активации их проводить.

Диапазона 40–75 ккал/моль [7] недостаточно для получения корректного кинетического спектра ОВ. Связано это с тем, что энергиям активации около 75 ккал/моль в контексте уравнения (2) соответствуют температуры пиролиза около 500 °С при скорости нагрева 25 °С/мин. Фактически кинетические исследования проводятся при температуре до 700 °С. Поэтому интервал энергий активации расширен с 20 до 90 ккал/моль. Применимость формулы (2) ограничена значениями 48–58 ккал/моль. Энергиям менее 48 ккал/моль и более 58 ккал/моль соответствуют константы Аррениуса, вычисленные по формуле (2) при 48 и 58 ккал/моль соответственно.

Пирограммы при скоростях нагрева 5, 15 и 25 °С/мин для каждого образца баженовской были построены с учетом степени трансформации ОВ (рис. 4).

Далее, в соответствии с вышеописанными условиями и математическим алгоритмом [7], рассчитывался кинетический спектр для каждого образца. Несмотря на то, что были получены неоднозначные результаты (таблица) и доли генерационного потенциала образцов различной термической зрелости приходятся на разные значения энергии активации, важно понимать, что каждый из них отображает усредненную энергетическую схему определенной стадии термической эволюции ОВ. Следующей нетривиальной задачей, которую нужно решить, является их объединение в общий кинетический спектр.

Значения константы Аррениуса и энергии активации являются общими для всех кинетических спектров (см. таблицу), поэтому появляется возможность математически оперировать (складывать, вычитать, выбирать большее или меньшее и т. д.) долями генерационного потенциала разных образцов



GEOCHEMICAL SURVEYS

Рис. 4. Пирограммы образцов пород баженовской свиты с учетом степени трансформации ОВ при скоростях нагрева 5 (А), 15 (В) и 25 °С/мин (С)

Fig. 4. Pyrograms of the Bazhenov rock samples taking into account the degree of OM transformation @ heating rate 5 (A), 15 (B), and 25 °C/min (C)

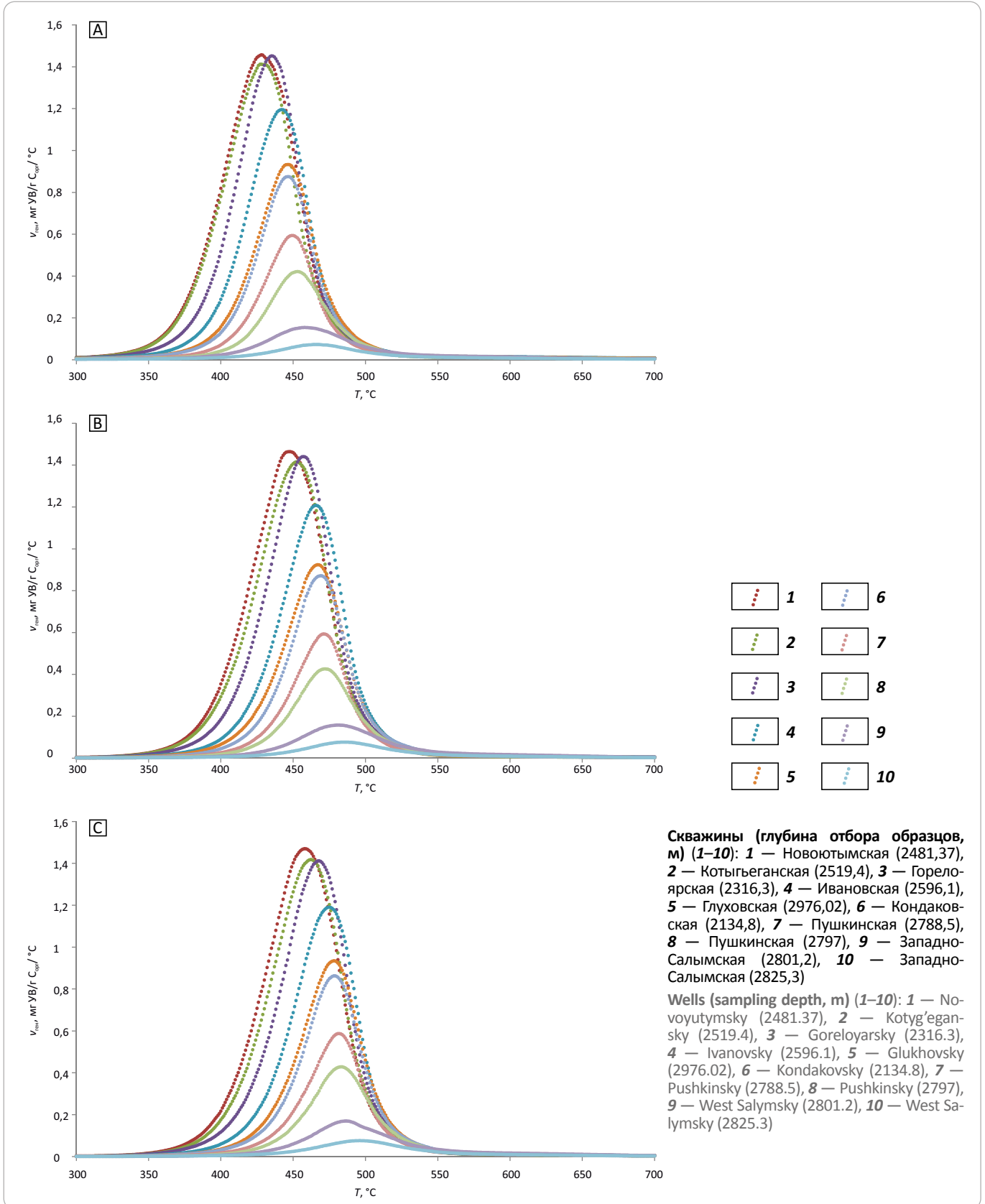


Таблица. Результаты кинетического исследования образцов пород баженовской свиты
Table. The results of kinetic studies of Bazhenov rock samples

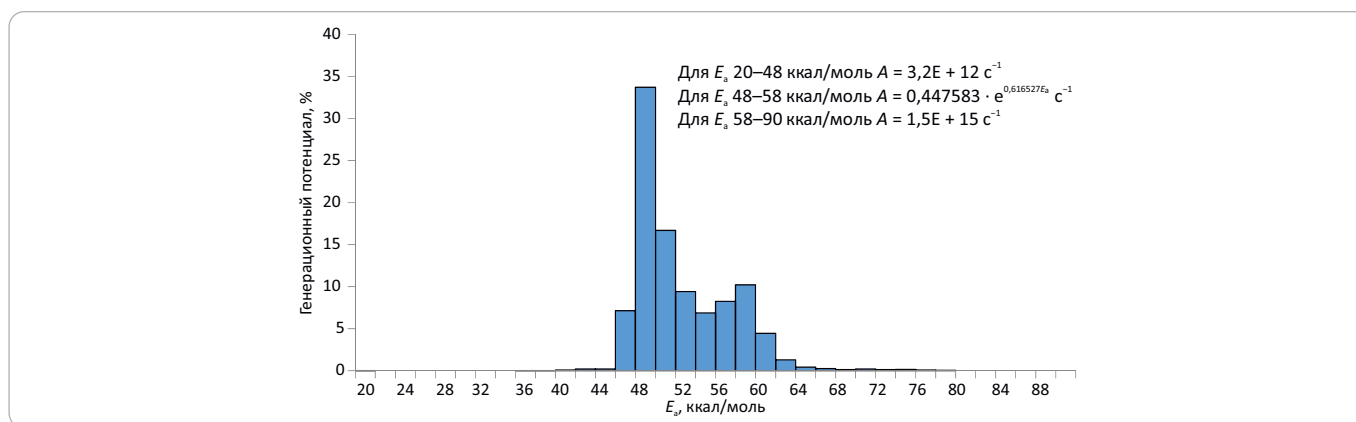
A, с ⁻¹	E _a , ккал/моль	Доля генерационного потенциала, соответствующая энергии активации, %										Максимальное значение, %	Пересчитанные доли, %
		Новокутынская (2481,37 м)	Котыгеганская (2519,4 м)	Горелоярская (2316,3 м)	Ивановская (2596,1 м)	Глуховская (2976,02 м)	Кондаковская (2134,8 м)	Пушкинская (2788,5 м)	Пушкинская (2797 м)	Западно-Сальымская (2801,2 м)	Западно-Сальымская (2825,3 м)		
3,2E+12	20	0,0011	0,0011	0,0002	0,0004	0,0003	0,0002	0,0001	0,0007	0,0001	0,0005	0,0011	0,0006
3,2E+12	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2E+12	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2E+12	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2E+12	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2E+12	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2E+12	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2E+12	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,2E+12	36	0	0	0,0035	0	0	0	0,0009	0,0004	0,0005	0	0,0035	0,0018
3,2E+12	38	0,0285	0,0153	0,022	0,0283	0,0265	0,0215	0,02	0,0112	0,0143	0,009	0,0285	0,0142
3,2E+12	40	0,1549	0,1588	0,1317	0,1061	0,0981	0,0725	0,0614	0,0604	0,0399	0,045	0,1588	0,0794
3,2E+12	42	0,0029	0,0231	0,3965	0,3308	0,2209	0,2218	0,1487	0,1063	0,0712	0,0827	0,3965	0,1981
3,2E+12	44	0	0	0	0,2398	0,3904	0,3811	0,1604	0,1426	0,115	0,1112	0,3904	0,1951
3,2E+12	46	14,2655	9,8687	0,4727	0	0,0193	0	0	0	0,2355	0,2209	14,2655	7,1289
3,2E+12	48	67,4799	66,5155	32,2765	0	0	0	0	0	0,2211	0,0658	67,4799	33,7218
1,1E+13	50	0	0	33,4179	9,0627	0	0	0	0	0	0	33,4179	16,6999
3,8E+13	52	0	0	0	18,8511	9,0745	0	0	0	0	0	18,8511	9,4205
1,3E+14	54	0	0	0	13,7525	5,4179	5,7198	0	0	0	0	13,7525	6,8726
4,4E+14	56	0	0	0	0	11,1363	16,5358	5,8445	0	0	0	16,5358	8,2634
1,5E+15	58	7,3521	5,8874	10,0851	17,4446	16,8729	16,7487	20,4536	18,3491	4,6177	1,4822	20,4536	10,2213
1,5E+15	60	8,1755	8,8875	8,0191	8,3289	7,8483	6,2249	3,2605	4,293	4,431	2,6357	8,8875	4,4413
1,5E+15	62	1,2659	1,365	1,5992	2,0372	2,2105	2,5828	1,5537	2,223	1,6688	0,9636	2,5828	1,2907
1,5E+15	64	0,7599	0,2647	0,2952	0,6193	0,2514	0,2998	0,2674	0,3627	0,8322	0,577	0,8322	0,4159
1,5E+15	66	0,2216	0,1587	0,2473	0,1289	0,3026	0,1246	0,3158	0,4346	0,5254	0,2482	0,5254	0,2625
1,5E+15	68	0,0987	0,2135	0,1098	0,1191	0,1304	0,0721	0,1303	0,1816	0,1899	0,255	0,255	0,1274
1,5E+15	70	0,1935	0,1306	0,3534	0,3381	0,2091	0,1644	0,089	0,0695	0,3971	0,1744	0,3971	0,1984
1,5E+15	72	0	0	0	0,0425	0,1361	0	0,0723	0,0426	0,2841	0,1663	0,2841	0,142
1,5E+15	74	0	0	0	0,1397	0,0604	0	0,0646	0,0921	0,3163	0,1524	0,3163	0,1581
1,5E+15	76	0	0	0	0	0,1842	0	0,0186	0	0	0	0,1842	0,0921
1,5E+15	78	0	0	0	0	0	0	0,1081	0	0	0	0,1081	0,054
1,5E+15	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5E+15	82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5E+15	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5E+15	86	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5E+15	88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5E+15	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Сумма		100	93,49	87,43	71,57	54,59	49,17	32,57	26,37	13,96	7,19	200,11	100



GEOCHEMICAL SURVEYS

Рис. 5. Обобщенный кинетический спектр реализации генерационного потенциала ОВ пород баженовской свиты в процессе термической эволюции

Fig. 5. Generalised kinetic spectrum of generation potential realization of the Bazhenov rock OM during the course of thermal evolution



с одинаковыми значениями обозначенных выше параметров. Этого нельзя делать в рамках классического подхода к кинетическим исследованиям [1], так как оптимальные значения константы Аррениуса для образцов разной степени зрелости неодинаковы.

С увеличением степени катагенеза генерационный потенциал ОВ уменьшается. Доли генерационного потенциала, соответствующие каждой энергии активации, также уменьшаются. Поэтому в рамках нового подхода предлагается учитывать только максимальные значения долей генерационного потенциала, не принимая во внимание промежуточные. Естественно, что в полученном таким образом кинетическом спектре сумма долей была больше 100 %, поэтому его пересчитали. Итоговый кинетический спектр отражен на рис. 5, а в таблице даны его подробные характеристики.

Заключение о корректности полученной кинетической модели может быть сделано только в ходе сопоставления результатов бассейнового моделирования, а именно степени трансформации ОВ, с данными о степени трансформации, полученными на основе геохимических исследований [10].

Важнейшей составляющей, которая позволяет оценить степень трансформации ОВ по кинетическим спектрам, является тепловая модель погружения осадочных пород. Построение тепловой модели для скважин является непростой задачей с большим числом неопределенностей и допущений, поэтому разные исследователи для одной и той же скважины могут получить разные результаты [11, 12]. Естественно, что применение одних результатов к кинетическому спектру позволяет добиться лучшей сходимости в степени трансформации ОВ между моделью и природными данными, чем других.

Существует простой, но достаточно эффективный в первом приближении способ оценить скорость изменения температуры осадочных пород по мере их погружения со временем. Отложения баженов-

ской свиты сформировались 150–145 млн лет назад. В районе исследований максимальные современные температуры достигают 135 °С (Западно-Салымская площадь) [13]. Важно учитывать вековые изменения температуры на поверхности Земли (на момент формирования отложений баженовской свиты температура составляла около 20 °С [12]), а также максимальные значения палеотемпературы, которые могли быть на 20 °С выше современных [13]. Таким образом, можно рассчитать линейную скорость нагрева, которая составляет 0,9 °С/млн лет.

В контексте этой скорости нагрева интересным выглядит сопоставление реализации генерационного потенциала полученного кинетического спектра с кинетическими спектрами для ОВ баженовской свиты, II и II_s типов керогена, которые описаны в различных работах геохимической тематики² [5, 14]. Итоги расчетов отражены на рис. 6, из которого следует, что ход реализации генерационного потенциала по кинетическому спектру на рис. 5 при низких степенях трансформации во многом близок к кинетическим спектрам для II и II_a типов керогена. Однако с увеличением степени катагенеза, при значении трансформации более 50 %, происходит существенное замедление реализации генерационного потенциала из-за процессов поликонденсации ОВ [7, 8].

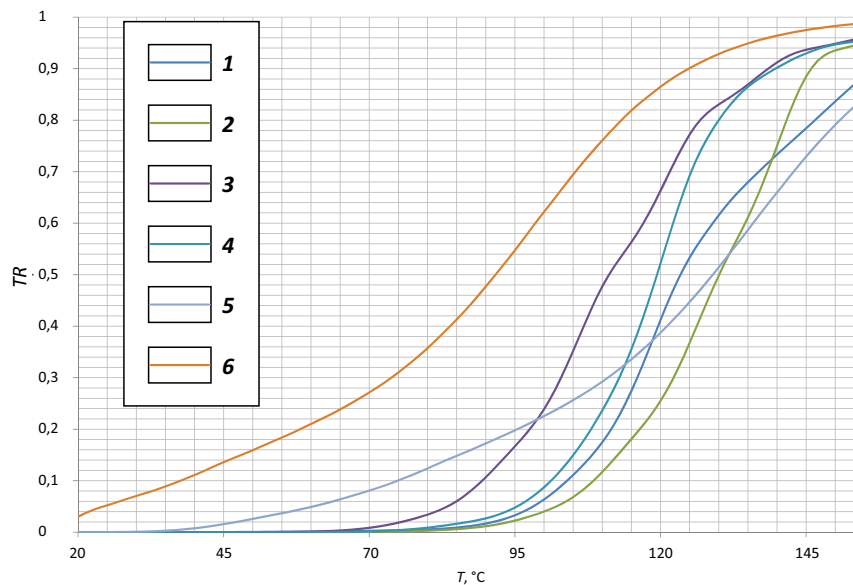
Заключение

Предложенный в статье подход к получению кинетических спектров на основе зависимости между значениями константы Аррениуса и энергии активации будет полезен специалистам, занимающимся бассейновым моделированием.

Важно, что для получения корректного результата необходимо наличие большого объема пиро-

² Астахов С.М. Физическое моделирование флюидообразования в нефтегазоматеринских породах и математическое моделирование нефтегазоаккумуляции в осадочных бассейнах: автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. – Ростов-на-Дону, 2018. – 393 с.

Рис. 6. Реализация генерационного потенциала в соответствии с кинетическими моделями
Fig. 6. Generation potential realization in accordance with kinetic models



Кинетические спектры (1–6): 1 —ОВ пород баженовской свиты в процессе термической эволюции (см. рис. 5), 2 — керогена II типа [14], 3 —керогена IIs типа [14], 4 — керогена Ila типа [5], 5 — ОВ пород баженовской свиты³, 6 — ОВ пород баженовской свиты с учетом динамокатагенеза (–5 ккал/моль)³

Kinetic spectra (1–6): 1 —the Bazhenov rock OM during the course of thermal evolution (see Fig. 5), 2 — II-type kerogene [14], 3 —IIs-type kerogene [14], 4 — Ila-type kerogene [5], 5 — the Bazhenov rock OM³, 6 — the Bazhenov rock OM taking into account the dynamocatagenesis (–5 kcal/mol)³

литических данных, используемых для построения графика зависимости HI от T_{max} и зависимости между значениями энергии активации и константы Аррениуса. Поэтому данный подход неприменим к слабоизученным осадочным бассейнам.

Полученная авторами статьи зависимость и кинетический спектр не универсальны, так как очевидно, что для других типов керогена реализация генерационного потенциала на графике HI– T_{max} будет иметь несколько другой вид.

Литература

1. Tissot B.P., Espitalie J. L'évolution thermique de la matière organique des sédiments: applications d'une simulation mathématique // Revue de l'Institut Français du Pétrole. – 1975. – Т. 30. – № 5. – С. 743–777. DOI: 10.2516/ogst:1975026.
2. Рогинский С.З., Хаит Ю.Л. К вопросу о происхождении компенсационного эффекта в химической кинетике // Доклады АН СССР. – 1960. – Т. 130. – № 2. – С. 366–369.
3. Романовский Б.В. Основы химической кинетики. – М.: Экзамен, 2006. – 416 с.
4. Tang Y., Stauffer M. Development of multiple cold trap pyrolysis // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 1994. – Т. 28. – № 2. – С. 167–174. DOI: 10.1016/0165-2370(93)00779-M.
5. Burnham A.K. Global chemical kinetics of fossil fuels. – Springer International Publishing AG, 2017. – 315 с. DOI: 10.1007/978-3-319-49634-4.
6. Фомин А.Н. Катагенез органического вещества и нефтегазоносность мезозойских и палеозойских отложений Западно-Сибирского мегабассейна. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2011. – 331 с.
7. Кашапов Р.С., Обласов Н.В., Гончаров И.В., Самойленко В.В., Гринько А.А., Трушков П.В., Фадеева С.В. Определение кинетических параметров пиролитической деструкции органического вещества нефтегазоматеринских пород // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2019. – Т. 14. – № 1. – Режим доступа: http://www.ngtr.ru/rub/2019/6_2019.html (дата обращения: 01.11.2019). DOI: 10.17353/2070-5379/6_2019.
8. Гончаров И.В., Харин В.С. Использование пиролиза в инертной атмосфере при исследовании органического вещества пород // Проблемы нефти и газа Тюмени. – 1982. – Вып. 56. – С. 8–10.
9. Espitalie J., Deroo G., Marquis F. La pyrolyse rock-eval et ses applications. Première partie // Revue de l'Institut Français du Pétrole. – 1985. – Т. 40. – № 5. – С. 563–579. DOI: 10.2516/ogst:1985035.
10. Гончаров И.В., Самойленко В.В., Обласов Н.В., Фадеева С.В., Веклич М.А., Кашапов Р.С., Трушков П.В., Бахтина Е.С. Типы и катагенез органического вещества баженовской свиты и ее возрастных аналогов // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 10. – С. 20–25.

³ Там же.

GEOCHEMICAL SURVEYS

11. Галушкин Ю.И. Моделирование осадочных бассейнов и оценка их нефтегазоносности. – М. : Научный мир, 2007. – 456 с.
12. Лобова Г.А., Стоцкий В.В., Исаяев В.И. Влияние палеоклимата на геотермический режим и реализацию нефтегенерационного потенциала баженовских отложений юго-востока Западной Сибири (Новосибирская область) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т. 9. – № 3. – Режим доступа: http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2014.pdf (дата обращения: 01.11.2019). DOI: 10.17353/2070-5379/31_2014.
13. Волков В.А., Сидоров А.А., Алейникова Е.А. О кинетических характеристиках органического вещества баженовской свиты // Недропользование XXI век. – 2017. – Т. 68. – № 5. – С. 30–38.
14. Behar F., Vandenbroucke M., Tang Y., Maquis F., Espitalie J. Thermal cracking of kerogen in open and closed systems: determination of kinetic parameters and stoichiometric coefficients for oil and gas generation // Organic Geochemistry. – 1997. – Т. 26. – № 5–6. – С. 321–339. DOI: 10.1016/S0146-6380(97)00014-4.

References

1. Tissot B.P., Espitalie J. L'évolution thermique de la matière organique des sédiments: applications d'une simulation mathématique. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*. 1975;30(5):743–777. DOI: 10.2516/ogst:1975026. In French.
2. Roginskiy S.Z., Khait YU.L. К вопросу о проiskhozhdenii kompensatsionnogo effekta v khimicheskoy kinetike [On the nature of compensation effect in chemical kinetics]. *Doklady AN SSSR*. 1960;130(2):366–369. In Russ.
3. Romanovskiy D.V. Osnovy khimicheskoy kinetiki [Introduction to chemical kinetics]. Moscow: Ekzamen; 2006. 416 p. In Russ.
4. Tang Y., Stauffer M. Development of multiple cold trap pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 1994;28(2):167–174. DOI: 10.1016/0165-2370(93)00779-M.
5. Burnham A.K. Global chemical kinetics of fossil fuels. Springer International Publishing AG; 2017. 315 p. DOI: 10.1007/978-3-319-49634-4.
6. Fomin A.N. Katagenez organicheskogo veshchestva i neftegazonosnost' mezozojskikh i paleozojskikh otlozhenij Zapadno-Sibirskogo megabassejna [Organic matter catagenesis and oil and gas potential of the Mesozoic and Paleozoic sediments of the West Siberian megabasin]. – Novosibirsk: INGG SO RAN; 2011. 331 p. In Russ.
7. Kashapov R.S., Oblasov N.V., Goncharov I.V., Samoilenko V.V., Grin'ko A.A., Trushkov P.V., Fadeyeva S.V. Opredeleniye kineticheskikh parametrov piroliticheskoy destruktivnoy organicheskogo veshchestva neftegazomaterinskikh porod [Determination of source rocks kinetic parameters using the destruction pyrolysis method]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2019;14(1). Available at: http://www.ngtp.ru/rub/2019/6_2019.html (accessed 01.11.2019). DOI: 10.17353/2070-5379/6_2019. In Russ.
8. Goncharov I.V., Kharin V.S. Ispol'zovaniye piroliza v inertnoy atmosfere pri issledovanii organicheskogo veshchestva porod [Pyrolysis in inert atmosphere: investigations of rock Organic Matter]. *Problemy nefti i gaza Tyumeni*. 1982;(56):8–10. In Russ.
9. Espitalie J., Deroo G., Marquis F. La pyrolyse rock-éval et ses applications. Première partie. *Revue de l'Institut Français du Pétrole*. 1985;40(5):563–579. In French.
10. Goncharov I.V., Samoilenko V.V., Oblasov N.V., Fadeyeva S.V., Veklich M.A., Kashapov R.S., Trushkov P.V., Bakhtina Ye.S. Tipy i katagenez organicheskogo veshchestva bazhenovskoy svity i yeye vozrastnykh analogov [Types of organic matter and catagenesis of the Bazhenov formation and its same-aged analogues]. *Neftyanoye khozyaystvo*. 2016;(10):20–25. In Russ.
11. Galushkin Yu.I. Modelirovaniye osadochnykh basseynov i otsenka ikh neftegazonosnosti [Modelling of sedimentary basins and assessment of oil and gas occurrence]. Moscow: Nauchnyy mir; 2007. 456 p. In Russ.
12. Lobova G.A., Stotskiy V.V., Isayev V.I. Vliyaniye paleoklimata na geotermicheskiy rezhim i realizatsiyu neftegeneratsionnogo potentsiala bazhenovskikh otlozheniy yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri (Novosibirskaya oblast') [Influence of paleoclimate on geothermal particularity and on the oil-generation potential of the Bazhenov formation (south-east western Siberia – Novosibirsk region)]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2014;9(3). Available at: http://www.ngtp.ru/rub/4/31_2014.pdf (accessed 01.11.2019). DOI: 10.17353/2070-5379/31_2014. In Russ.
13. Volkov V.A., Sidorov A.A., Aleynikova Ye.A. O kineticheskikh kharakteristikakh organicheskogo veshchestva bazhenovskoy svity [About the kinetic parameters of the organic matter of the Bazhenov formations]. *Neдропользование XXI vek*. 2017;68(5):30–38. In Russ.
14. Behar F., Vandenbroucke M., Tang Y., Maquis F., Espitalie J. Thermal cracking of kerogen in open and closed systems: determination of kinetic parameters and stoichiometric coefficients for oil and gas generation. *Organic Geochemistry*. 1997;26(5–6):321–339. DOI: 10.1016/S0146-6380(97)00014-4.

Информация об авторах

Кашапов Роман Сергеевич

Научный сотрудник

АО «ТомскНИПИнефть»,

634027 Томск, проспект Мира, д. 72

e-mail: KashapovRS@tomsknipi.ru

ORCID ID: 0000-0002-5791-9291

Гончаров Иван Васильевич

Доктор геолого-минералогических наук, профессор,
начальник управления

АО «ТомскНИПИнефть»,

634027 Томск, проспект Мира, д. 72

e-mail: GoncharovIV@tomsknipi.ru

ORCID ID: 0000-0002-2247-1992

Information about authors

Roman S. Kashapov

Researcher

TomskNIPIneft,

72, prospekt Mira, Tomsk, 634027, Russia

e-mail: KashapovRS@tomsknipi.ru

ORCID: ID 0000-0002-5791-9291

Ivan V. Goncharov

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,
Professor, Head of Administration

TomskNIPIneft,

72, prospekt Mira, Tomsk, 634027, Russia

e-mail: GoncharovIV@tomsknipi.ru

ORCID ID: 0000-0002-2247-1992

Обласов Николай Владимирович

Кандидат геолого-минералогических наук,
начальник сектора

АО «ТомскНИПинефть»,
634027 Томск, пр-т Мира, д. 72
e-mail: oblasovnv@tomsknipineft.ru

Самойленко Вадим Валерьевич

Кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий лабораторией

АО «ТомскНИПинефть»,
634027 Томск, пр-т Мира, д. 72
e-mail: SamoilenkoVV@tomsknipi.ru
ORCID ID: 0000-0002-2077-9192

Трушков Павел Валерьевич

Начальник сектора

АО «ТомскНИПинефть»,
634027 Томск, пр-т Мира, д. 72
e-mail: TrushkovPV@tomsknipi.ru
ORCID ID: 0000-0001-9574-2960

Фадеева Светлана Васильевна

Кандидат геолого-минералогических наук,
главный специалист

АО «ТомскНИПинефть»,
634027 Томск, пр-т Мира, д. 72
e-mail: FadeevaSV@tomsknipi.ru
ORCID ID: 0000-0002-7571-5428

Nikolai V. Oblasov

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Head of Section

TomskNIPineft,
72, prospekt Mira, Tomsk, 634027, Russia
e-mail: oblasovnv@tomsknipineft.ru

Vadim V. Samoilenko

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Lab Supervisor

TomskNIPineft,
72, prospekt Mira, Tomsk, 634027, Russia
e-mail: SamoilenkoVV@tomsknipi.ru
ORCID ID: 0000-0002-2077-9192

Pavel V. Trushkov

Head of Section

TomskNIPineft,
72, prospekt Mira, Tomsk, 634027, Russia
e-mail: TrushkovPV@tomsknipi.ru
ORCID ID: 0000-0001-9574-2960

Svetlana V. Fadeeva

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,
Senior Specialist

TomskNIPineft,
72, prospekt Mira, Tomsk, 634027, Russia
e-mail: FadeevaSV@tomsknipi.ru
ORCID ID: 0000-0002-7571-5428