



СВЯЗЬ АНОМАЛИЙ В ГЛУБИННОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ КАТАГЕНЕЗА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА С ПРОЯВЛЕНИЯМИ ДИНАМОКАТАГЕНЕЗА (НА ПРИМЕРЕ ВПАДИНЫ ЧДЖИН НЕФТЕГАЗОНОСНОГО БАСЕЙНА БОХАЙ)

Н.А. КАСЬЯНОВА*, Ш. ЦЮ

ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Работами ряда исследователей доказана заметная роль динамокатагенеза в нефтегазообразовании и нефтегазонакоплении, при этом с оговоркой, что проявления динамокатагенеза связаны с тектоническими нарушениями избирательно. Остается неизвестным, с какими именно морфодинамическими характеристиками разрывных нарушений связаны проявления динамокатагенеза и каковы фактические количественные характеристики самих проявлений катагенеза. Эти исследования имеют большое значение для оценки нефтегазообразования и нефтегазонакопления для любой территории, особенно при прогнозе нетрадиционных ресурсов и запасов нефти и газа.

Цель. Установить причину и исследовать фиксируемые аномалии в глубинной зональности катагенетической преобразованности органического вещества для понимания условий образования углеводородов во впадине Чджин нефтегазоносного бассейна Бохай.

Материалы и методы. Исследования проведены на скважинном уровне на основе комплексного анализа большого объема новейших данных геолого-геофизических и геохимических исследований (данные нефтяной компании «Шэнли» АКОО «Синопек»).

Результаты. На скважинном уровне установлен динамический тип катагенеза органического вещества. Дана структурно-кинематико-возрастная характеристика разрывных нарушений, к которым приурочены проявления динамокатагенеза. Определены фактические количественные выражения теплового воздействия разрывных нарушений на породы осадочной толщи.

Заключение. Проведенные исследования показали, что имеющие место аномалии в глубинной зональности преобразованности органического вещества, не связанные с региональным погружением, связаны с проявлениями динамокатагенеза.

Ключевые слова: нефтегазоносный бассейн, впадина Чджин, разлом, динамокатагенез

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Касьянова Н.А., Цю Ш. Связь аномалий в глубинной зональности катагенеза органического вещества с проявлениями динамокатагенеза (на примере впадины Чджин нефтегазоносного бассейна Бохай). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(6):22—28. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-6-22-28>

Статья поступила в редакцию 11.12.2022

Принята к публикации 30.01.2023

Опубликована 31.01.2023

* Автор, ответственный за переписку

RELATIONSHIP BETWEEN ANOMALIES IN THE DEEP ZONALITY OF ORGANIC MATTER CATAGENESIS AND DYNAMOCATAGENAISE MANIFESTATIONS (ON EXAMPLE OF THE CHEZHEN SAG OF THE BOHAI OIL AND GAS BASIN)

NATALIA A. KASYANOVA*, SHIZHE QIU

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Background. The role of dynamocatagenesis in oil and gas formation has been confirmed in a number of publications. However, all of them indicate that dynamocatagenesis manifestations are associated with tectonic disorders selectively. It remains unclear which morphodynamic characteristics of tectonic disorders relate to dynamocatagenesis manifestations, and which values the actual quantitative characteristics of dynamocatagenesis manifestations obtain. Research in this direction is of importance for assessing oil and gas formation in any area, particularly when forecasting unconventional oil and gas resources.

Aim. To determine the reasons for the appearance of anomalies recorded in the deep zonality of the catagenetic transformation of organic matter within the Chezhen Sag of the Bohai oil and gas basin in order to understand conditions for the formation of hydrocarbons.

Materials and methods. Studies were conducted at the borehole level, based on a comprehensive analysis of the latest geological, geophysical, and geochemical information obtained by the Sinopec Shengli Oilfield Company.

Results. At the borehole level, the dynamic type of catagenesis of organic matter was established. A structural-kinematic-age characteristic of faults, to which dynamocatagenesis manifestations are confined, was described. Actual quantitative expressions of thermal impact of faults on the rocks of sedimentary strata were determined.

Conclusion. The conducted research confirmed that anomalies in the deep zonality of organic matter catagenesis are related to dynamocatagenesis manifestations, rather than to the regional immersion.

Keywords: oil and gas basin, Chezhen sag, fault, dynamocatagenesis

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Kasyanova N.A., Qiu Sh. Relationship between anomalies in the deep zonality of organic matter catagenesis and dynamocatagenaise manifestations (on example of the Chezhen sag of the Bohai oil and gas basin). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(6):22—28. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-6-22-28>

Manuscript received 11 December 2022

Accepted 30 January 2023

Published 31 January 2023

* Corresponding author

Нефтегазоносный бассейн Бохай — крупнейший в Китае, занимает залив (Бохай) Желтого моря и прилегающие районы суши общей площадью около 200 тыс. км² (рис. 1). Формирование кайнозойского осадочного бассейна Бохай, как и других многочисленных бассейнов восточной окраины Восточного

Китая, связано с кайнозойской гигантской Восточно-Китайской рифтовой системой с главным разломом Тан-Лу северо-восточной ориентировки и шириной 80 км [7, 11—13], относящимся к литосферным разломам, с глубиной проникновения 90 км [15]. Восточно-Китайская рифтовая система

является частью Восточно-Азиатской глобальной сдвиговой зоны, которая протягивается в север-северо-восточном направлении от Южно-Китайского до Восточно-Сибирского моря и контролирует окраинно-континентальный вулканический пояс, который с небольшими перерывами прослеживается от Юго-Восточного Китая до Чукотки [7].

Наиболее энергичные тектонические активности в данном суперрегионе каждый раз ознаменовывались широкомасштабным магматизмом [14]. Так, в кайнозойскую эру широкомасштабное тектоническое растяжение трижды сопровождалось широкой активизацией вулканической деятельности в Восточном Китае, в режиме которой зафиксированы три активности: в позднем миоцене, среднем плейстоцене и в историческое время (1719—1721 гг.) [1].

Как результат высокой геодинамической нестабильности в регионе, в пределах изучаемой впадины Чджин нефтегазоносного бассейна Бохай развита сложная разломная система, включающая разломные системы разных генераций [9]: молодые/кайнозойские (СВ и СЗ ориентировки сбросы и сбросо-сдвиги) и древние (субширотные, взбросо-сдвиги). Все древние и некоторые кайнозойские разломы корнями уходят в фундамент.

Нестабильная геодинамическая ситуация в регионе сохраняется до сих пор, о чем убедительно свидетельствуют аномально повышенные величины тепловых потоков в пределах активных структур растяжения, которые испытали термальное влияние вертикально поднимающихся литосферных и мантийных диапиров. Так, в районе исследования фоновые величины тепловых потоков

повышенные (60—80 мВт/м²), имеются аномалии (более 100 мВт/м²) [2]. Геотермический градиент над магматическими массивами составляет 4,0—5,0 °С/100 м (на фоне 2,5—3,0 °С/100 м), что отражается в дополнительном прогреве пород осадочного чехла [4].

Первым, кто обозначил и применил связь аномального локального прогрева пород с тектоническими нарушениями к нефтегазовой геологии, был Б.А. Соколов, автор термина «динамокатагенез» (1975) (рост давления и температуры в зонах тектонических нарушений). Вскоре появились тематические публикации, в которых утверждалось, что сейсмотектонические процессы — фактор, вызывающий преобразование органического вещества осадочных пород [6, 10]. Первая попытка количественной оценки динамокатагенетического фактора была предпринята А.Н. Резниковым (1988). В геологической литературе всё чаще встречаются работы, в которых приводятся материалы, в том числе экспериментальные данные, указывающие на возможное тепловое и динамическое воздействие на породы в природных условиях [5, 8].

Материалы и методы

В исследовании использован большой объем новейших данных бурения поисково-разведочных скважин и лабораторных геохимических исследований (определение отражательной способности витринита), предоставленные для исследования нефтяной компанией «Шэнли» АКОО «Синопек». Исследования проведены методом комплексного анализа разноплановой информации: геолого-геофизической, геодинамической, геохимической и промысловой.

Результаты и обсуждение

Приведены результаты исследования, выполненного на скважинном уровне.

Ниже представлены фактические геолого-геохимические данные, свидетельствующие о локализованном проявлении динамокатагенеза органического вещества, с указанием количественных характеристик теплового воздействия разлома на окружающие его породы осадочной толщи.

Для впадины Чджин установлено [3], что тектонический фактор контролирует термобарические условия в залежах. Локализованные по площади (охватом 1—3 скважины) зоны аномально высоких пластовых давлений (АВПД) и повышенных температур приурочены к разрывным нарушениям молодого возраста (флюидопроницаемым). В зонах

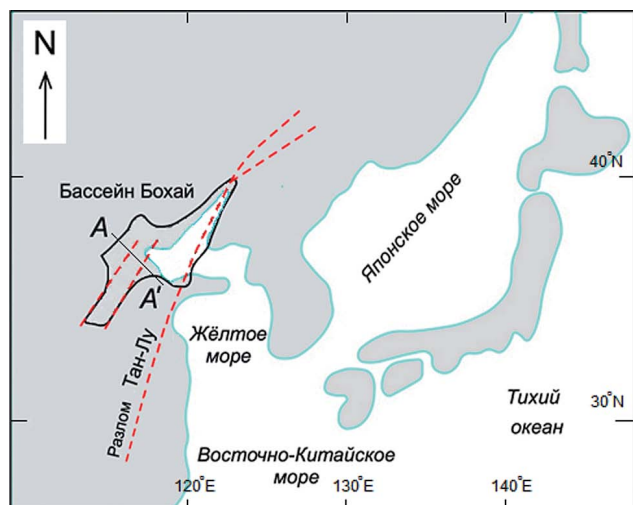


Рис. 1. Местоположение района исследования
Fig. 1. Location of the study area

АВПД, в частности палеогеновых (эоценовых) нефтяных залежей, значения глубинного градиента пластового давления достигают 1,34 (на фоне 0,7—1,0), значение геотермического градиента 4,9 °C/100 м. Сильное тепловое воздействие отражается и на физических свойствах нефтей (вязкость нефтей меньше на 2—3 порядка, плотность снижена).

Анализ глубинной зональности катагенеза органического вещества, заключенного в породах осадочной толщи, показал:

- в целом для впадины Чджин прямой зависимости степени катагенетической преобразованности ОВ от глубины его захоронения нет (коэффициент корреляции 0,59) (рис. 2а):

- *отдельно* для палеозойского разреза впадины (рис. 2б) коэффициент корреляции между рассматриваемыми параметрами составляет 0,77;

- *отдельно* для палеогенового (эоценового) разреза (рис. 2в) зависимость степени преобразованности ОВ от глубины почти прямая (коэффициент корреляции 0,98).

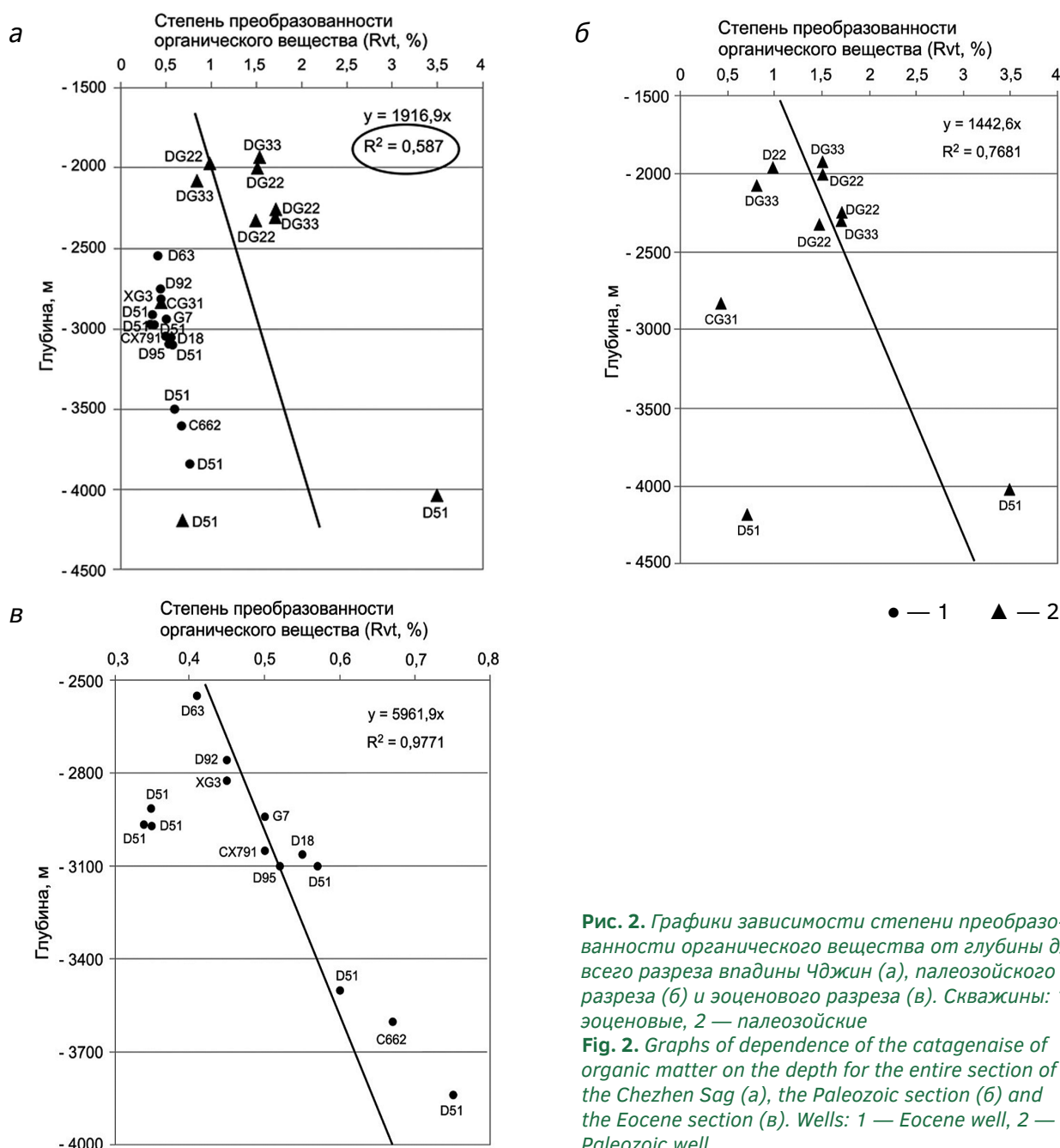


Рис. 2. Графики зависимости степени преобразованности органического вещества от глубины для всего разреза впадины Чджин (а), палеозойского разреза (б) и эоценового разреза (в). Скважины: 1 — эоценовые, 2 — палеозойские

Fig. 2. Graphs of dependence of the catagenise of organic matter on the depth for the entire section of the Chezhen Sag (а), the Paleozoic section (б) and the Eocene section (в). Wells: 1 — Eocene well, 2 — Paleozoic well

Наблюдаемые противоречия в глубинной зональности катагенеза ОВ имеют тектоническую природу: 1) в результате тектонических реконструкций в регионе более прогретые палеозойские толщи на значительной части впадины оказались в современной геоструктуре впадины на небольших глубинах (1—1,5 км); 2) глубинные разломы, относящиеся к системе главного в регионе литосферного разлома Тан-Лу СВ ориентировки, оказывали сильное (локальное) тепловое воздействие на породы, что фиксируется на скважинном уровне.

На примере скважины D51 (рис. 3), по которой исследовано 8 образцов разновозрастных аргиллитов (эоцен-ордовикского возраста), показано, что степень преобразованности ОВ пласта Ш-1 горизонта Шахэцхе (эоцен) соответствует диагенезу (ПК2); пластов Ш-2 и Ш-3 — катагенезу (МК1—МК2); нижнепермских отложений на участке пересечения скважиной разлома — метагенезу (АК2), ордовикских отложений — катагенезу (МК2).

Участок аномально высокой степени преобразованности ОВ ($R_{vt} = 3,5\%$) на глубине 4038,2 м совпадает с участком пересечения скважиной кайнозойского сброса СВ ориентировки. Здесь степень преобразованности ОВ, заключен-

ного в нижнепермских отложениях, увеличена на 2 градации (метагенез АК2) относительно соседних сверху (эоценовых) и снизу (ордовикских) отложений (катагенез МК2). Происхождение фиксируемой катагенетической аномалии, вероятнее всего, имеет миграционно-геодинамическую природу и указывает на активную миграцию (снизу вверх) сильно прогретых глубинных флюидов в проницаемом трещинном пространстве данного разрывного нарушения (молодого возраста, СВ ориентировки).

Таким образом, на примере скважины D51, зафиксировавшей проявление динамокатагенеза, установлены **фактические количественные выражения теплового воздействия разрывного нарушения** (молодого возраста, СВ ориентировки, сброса) на породы осадочной толщи:

- локализованный (по разрезу) аномально высокий катагенез органического вещества, совпадающий с участком пересечения скважиной проницаемого разрывного нарушения, отличается от фоновых значений (по разрезу) на две градации, что может иметь миграционно-геодинамическую природу;

- радиус сильного теплового воздействия разлома на окружающие его породы осадочной толщи составляет 100—150 м.

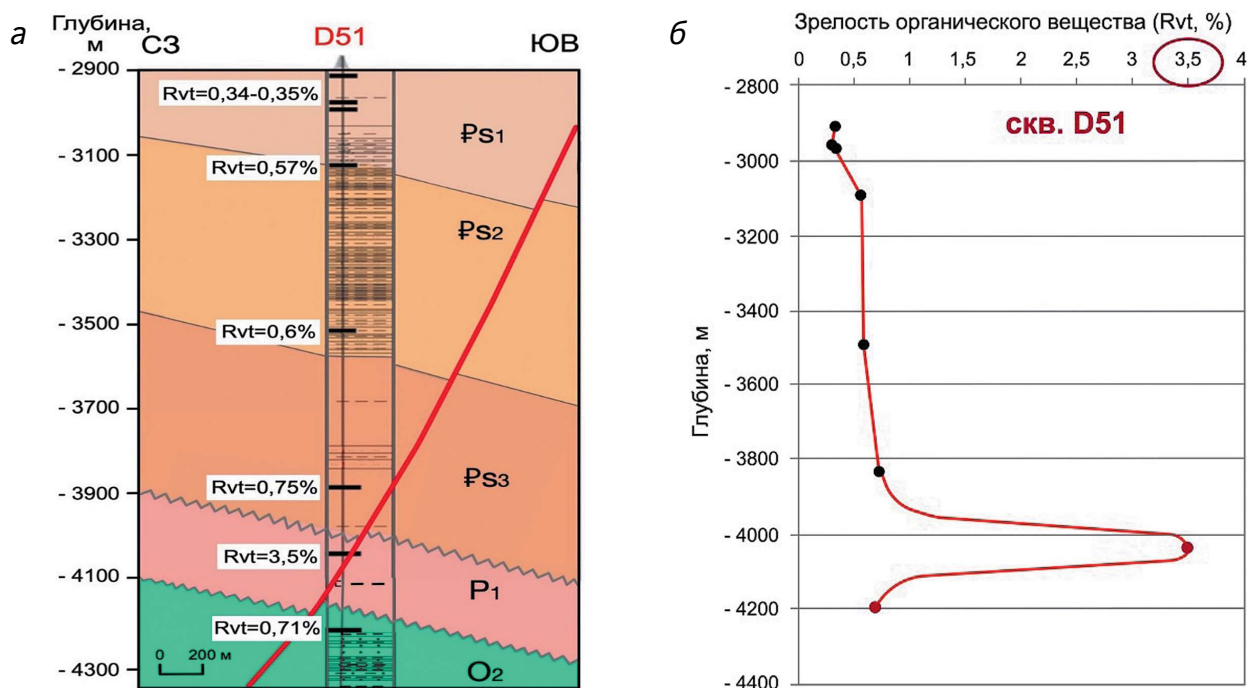


Рис. 3. Распределение степени катагенетической преобразованности по глубине органического вещества, заключенного в аргиллитах эоцен-ордовикского разреза в пределах скважины D51

Fig. 3. Distribution of the degree of catagenetic transformation of organic matter on depth, enclosed in the argillites of the Eocene-Ordovician section within the well D51

Заключение

По результатам проведенного исследования, выполненного на скважинном уровне, установлено, что аномалии в глубинной зональности катагенеза органического вещества связаны с проявлениями динамокатагенеза. Дана структурно-кинематико-возрастная характеристика разрывных нарушений, к которым приурочены проявления динамокатагенеза. Определены фактические количественные выражения теплового воздействия разрывных нарушений на окружающие его породы.

Эти новые полученные знания имеют важное теоретическое и практическое значение, которые целесообразно учитывать при оценке/ уточнении генерационного потенциала нефтематеринских толщ, при геомоделировании углеводородных систем нефтегазоносных бассейнов, при прогнозе нетрадиционных ресурсов и запасов нефти и газа, особенно при поисках трещинной сланцевой нефти и газа, имеющей наибольший поисковый интерес, в частности в Китае.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грачев А.Ф. Основные проблемы новейшей тектоники и геодинамики северной Евразии // Физика Земли. 1996. № 12. С. 5—36.
2. Лысак С.В. Термальная эволюция, геодинамика и современная геотермальная активность Китайской плиты // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 9. С. 1058—1071.
3. Касьянова Н.А., Цю Ш. Структурно-геодинамический контроль аномальных термобарических условий в залежах нефти и физических свойств нефтей впадины Чджин депрессии Цзиян (Восточный Китай) // Горный журнал. 2022. № 9. С. 9—14.
4. Конторович А.Э., Фомин А.Н., Красавчиков В.О., Истомин А.В. Катагенез органического вещества в кровле и подошве юрского комплекса Западно-Сибирского мегабассейна // Геология и геофизика. 2009. № 50(11). С. 1191—1200.
5. Сианисян Э.С., Резников А.Н. Опыт оценки палеотемператур и динамокатагенетического фактора осадочных отложений на примере сверхглубоких скважин Предкавказья // Литология и полезные ископаемые. 1994. № 3. С. 140—143.
6. Трофимук А.А., Черский Н.В., Царев В.П. и др. Сейсмостектонические процессы – фактор, вызывающий преобразование органических веществ осадочных пород / Доклады Академии наук СССР, 1983. № 3. С. 1460–1464.
7. Уткин В.П., Митрохин А.Н., Неволин П.Л. Сдвиговый континентальный рифтогенез восточной окраины Азии // Литосфера. 2016. № 4. С. 5—29.
8. Царев В.В., Скачек К.Г., Бакуев О.В., Еремин Ю.Г., Костров Ю.В., Беляев М.О. Влияние тектонических факторов на постседиментационное преобразование пород и его связь с генерацией и накоплением углеводородов // Нефтяное хозяйство. 2020. № 10. С. 14—19.
9. Цю Ш., Касьянова Н.А. Особенности геологического строения, эволюции тектонического развития и нефтегазоносности впадины Чджин (бассейн залива Бохай) // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2020. Т. 63. № 5. С. 8—16.
10. Черский Н.В., Царев В.П., Сороко Т.И. и др. Влияние тектоносейсмических процессов на образование и накопление углеводородов. Новосибирск: Наука, 1985. 224 с.
11. Tian J.H., Luo Y. Characteristics of stress field in mainland China and surrounding areas // Earthquake. 2019. Vol. 39. No 2. P. 110—121.
12. Xu J.W., Zhu G. Tectonic models of the Tan-Lu fault zone, eastern China // International Geology Review. 1994. Vol. 36. P. 771—784.
13. Zhang J., Li W., Wu Z., et al. Structural Characteristics of Tan-Lu Fault Zone in South Area of Bohai Sea and Its Control on Basin Structure // Earth Science. 2017. Vol. 42. No. 9. P. 1549—1564.
14. Zhang Y., Ma Y., Yang N., et al. Cenozoic extensional stress evolution in North China // Journal of Geodynamics. 2003. Vol. 36. No. 5. P. 6—13.
15. Zhao L. The Interplay between Extension and Strike-slip Faulting in Western Shandong Rise — Jiyang Depression since Late Mesozoic: Doctoral dissertation. China University of Petroleum (East China), 2015. 134 p.

REFERENCES

1. Grachev A.F. The main problems of the latest tectonics and geodynamics of the North Eurasia // Earth's Physics. 1996. No. 12. P. 5—36 (In Russ.).
2. Lysak S.V. Thermal history, Geodynamics, and Current Thermal activity of Lithosphere in China // Geology and Geophysics. 2009. Vol. 50. No. 9. P. 1058—1071 (In Russ.).
3. Kasyanova N.A., Qiu Sh. Structural and geodynamic control of abnormal thermobaric conditions and physical properties of oil reservoirs in the Chezhen sag of the Jiyang depression, East China // Mining Journal. 2022. Vol. 9(2302). P. 9—14.
4. Kontorovich A.EH., Fomin A.N., Krasavchikov V.O., Istomin A.V. Catagenesis of organic matter at the top and base of the Jurassic complex in the West Siberian megabasin // Geology and Geophysics, 2009. Vol. 50(11). P. 1191—1200 (In Russ.).
5. Sianisyan E.S., Reznikov A.N. The experience of

- assessing of paleo-temperature and dynamic-cata-genetic factor of sediments on the example of ultra-deep wells of the Ciscaucasia // *Lithology and Mineral Resources*. 1994. No. 3. P.140—143 (In Russ.).
6. Trofimuk A.A., Cherskiy N.V., Tsarev V.P., et al. Seismotectonic processes as factor resulting in transformation of organic matter of sedimentary rocks // *Proceedings of the USSR Academy of Science*, 1983. No 3. Pp.1460-1464.
 7. Utkin V.P., Mitrokhin A.N., Nevolin P.L. Strike-slip related continental rifting of the eastern margin of Asia // *Lithosphere*. 2016. No. 4. P. 5—29 (In Russ.).
 8. Tsarev V.V., Skachek K.G., Bakuev O.V., Eremin Yu.G., Kostrov Yu.V., Belyaev M.O. Influence of tectonic factors on post-sedimentation transformation of rocks and its relation to generation and accumulation of hydrocarbons // *Oil Industry*, 2020. No. 10. P. 14—19 (In Russ.).
 9. Qiu Sh., Kasyanova N.A. Features of the geological structure, tectonic development and oil and gas potential of the Chezhen sag (Bohai bay basin). *Proceedings of higher educational establishments // Geology and Exploration*. 2020. Vol. 63. No. 5. P. 8—16 (In Russ.).
 10. Cherskiy N.V., Tsarev V.P., Soroko T.I., et al. Impact of tectonoseismic processes on hydrocarbon generation and accumulation. Novosibirsk: Nauka Publ., 1985. 224 p.
 11. Tian J.H, Luo Y. Characteristics of stress field in mainland China and surrounding areas // *Earthquake*. 2019. Vol. 39. No 2. P. 110—121.
 12. Xu J.W, Zhu G. Tectonic models of the Tan-Lu fault zone, eastern China // *International Geology Review*. 1994. Vol. 36. P. 771—784.
 13. Zhang J., Li W., Wu Z., et al. Structural Characteristics of Tan-Lu Fault Zone in South Area of Bohai Sea and Its Control on Basin Structure // *Earth Science*. 2017. Vol. 42. No. 9. P. 1549—1564.
 14. Zhang Y., Ma Y., Yang N., et al. Cenozoic extensional stress evolution in North China // *Journal of Geodynamics*. 2003. Vol. 36. No. 5. P. 6—13.
 15. Zhao L. The Interplay between Extension and Strike-slip Faulting in Western Shandong Rise-Jiyang Depression since Late Mesozoic: Doctoral dissertation. China University of Petroleum (East China), 2015. 134 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHORS CONTRIBUTIONS

Касьянова Н.А. — внесла вклад в решение проблемы использования структурно-геодинамических исследований для изучения степени катагенетической преобразованности органического вещества при поисках месторождений углеводородов, в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты статьи.

Цю Ш. — собрала исходный фактический материал, подготовила графику, приняла участие в разработке концепции статьи и подготовке текста статьи.

Natalia A. Kasyanova — contributed to solving of problem of using structural-geodynamic studies to study the catagenesis of organic matter in the search for hydrocarbon deposits; contribution to the development of the concept of the article, prepared the text of article and agrees to take responsibility for all aspects of the article.

Shizhe Qiu — collected initial actual data, made the graphics, took part in the development of the concept of the article and the preparation of article text.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

Касьянова Наталья Александровна* — профессор кафедры «Геология и разведка месторождений углеводородов» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: nkasyanova@mail.ru

Цю Шичжэ — аспирант кафедры «Геология и разведка месторождений углеводородов» ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе». 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: qiushizhe@qq.com

Natalia A. Kasyanova* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: nkasyanova@mail.ru

Qiu Shizhe — postgraduate student, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting. 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia e-mail: qiushizhe@qq.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author