

СТАТЬЯ

УДК 550.34.06(571.56)
DOI 10.17513/use.38341

**ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИКЛИНАЛЬНЫХ СТРУКТУР
НА ШЕЛЬФАХ МОРЕЙ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЯКУТИИ
ПО ДАННЫМ СЕЙМОСТРАТИГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
И ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ИХ КЛАССИФИКАЦИИ**

¹Оболкин А.П., ²Оболкин А.А., ¹Слепцова М.И., ¹Севостьянова Р.Ф.

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук», обособленное подразделение
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук,
Якутск, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²ПАО «Сургутнефтегаз», Сургут

Целью исследования является выявление в сейсмическом волновом поле методами сеймостратиграфического анализа характерных, типичных сейсмофаций, указывающих на происхождение антиклиналей в локальных структурно-тектонических зонах шельфов морей северо-востока Якутии для последующего изучения перспективных объектов и их классификации. По результатам сеймостратиграфического анализа структур шельфов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, выявлены основные сейсмокомплексы, характеризующие антиклинальные структуры шельфов структурно-тектонического и магматического типов. Выделены пять типов антиклиналей. Первый тип – на примере Андриановского поднятия показано, что в нижнем структурном этаже присутствуют структуры горизонтально-сдвигового, рампового типа. Второй тип – на севере Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны показаны структуры ее внешней части в виде куполовидных линз выдавливания. Третий тип – центральная часть надвиговой зоны сложена рядом антиклиналей с эродированной поверхностью. Присутствуют склоновые образования. Четвертый тип структур связан с аллохтонами отдельных надвиговых пластин. Пятый тип – на западе Чукотско-Новосибирской надвиговой зоны выявлены антиклинали, образованные подошвенным вдвигом, внедрившимся на начальной стадии ее формирования. Арктический плюм проявляется на шельфе моря Лаптевых в краевых частях тектоно-магматической зоны хребта Гаккеля в виде краевых подошвенных вдвигов, образующих положительные структуры в осадочном чехле. В основании Менвильского прогиба присутствуют магматиты пластового типа. На основе выделения типовых сейсмофаций в каждой структурной зоне возможна их классификация и оценка перспектив их нефтегазоносности.

Ключевые слова: шельфы морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, Андриановское поднятие, сейсмофации, типы антиклинальных структур, Новосибирско-Чукотская надвиговая зона, хребет Гаккеля

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 122011100158-2.

**FEATURES OF THE FORMATION OF ANTICLINAL STRUCTURES
ON THE SHELVES OF THE SEA OF NORTH-EASTERN YAKUTIA
ACCORDING TO SEISMOSTRATIGRAPHIC ANALYSIS
AND PROPOSALS FOR THEIR CLASSIFICATION**

¹Obolkin A.P., ²Obolkin A.A., ¹Sleptsova M.I., ¹Sevostyanova R.F.

¹Federal Research Centre – The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: msleptsova@mail.ru;
²PJSC “Surgutneftegas”, Surgut

The purpose of the study is to identify characteristic, typical seismic facies in the seismic wave field using seismostratigraphic analysis methods, indicating the origin of anticlines in local structural-tectonic zones of the sea shelves of north-east Yakutia, for the subsequent study of promising objects and their classification. Based on the results of seismostratigraphic analysis of the shelf structures of the Laptev, East Siberian and Chukchi seas, the main seismic complexes were identified that characterize the anticlinal structures of the shelves of structural-tectonic and magmatic types. First type. Using the example of the Andrianovsky uplift, it is shown that in the lower structural floor there are structures of the horizontal-shear, ramp type. Second type. In the north of the Novosibirsk-Chukchi thrust zone, the structures of its outer part are shown in the form of dome-shaped extrusion lenses. Third type. The central part of the thrust zone is composed of a series of anticlines with an eroded surface. There are slope formations. The fourth type of structure is associated with allochthons of individual thrust sheets. Fifth type. In the west of the Chukotka-Novosibirsk thrust zone, anticlines have been identified formed by a footwall thrust that intruded at the initial stage of its formation. The Arctic plume appears on the shelf of the Laptev Sea in the marginal parts of the tectono-magmatic zone of the Gakkell Ridge in the form of marginal bottom thrusts forming positive structures in the sedimentary cover. At the base

of the Menville trough there are sheet-type magmatites. Based on the identification of typical seismic facies in each structural zone, it is possible to classify them and assess the prospects for their oil and gas potential.

Keywords: shelf of the Laptev, East Siberian and Chukchi seas, seismic facies, Andrianovo uplift, Novosibirsk-Chukchi thrust zone, Gakkel Ridge

The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 122011100158-2.

Введение

В северо-восточной части Республики Саха (Якутия) на шельфах морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского морскими сейсморазведочными работами различных организаций выявлен ряд антиклинальных структур. Перспективные объекты оцениваются как потенциально нефтегазодоступные с достаточно высоким прогнозным углеводородным потенциалом.

Структурно-тектонические особенности региона, открытые и изученные предыдущими исследователями Северного Ледовитого океана (СЛО), заложили основу для его последующего изучения геологического строения [1, с. 27]. К таковым относятся исследования и выводы Ю.Е. Погребицкого, Л.П. Зоненшайна, В.Е. Хаина, А.Б. Кузьмичева, С.Д. Соколова, В.А. Верниковского, В.А. Виноградова и многих других, получивших подтверждение последующими работами [2; 3; 4, с. 6]. Дальнейшее изучение основных структурных элементов региона, выявленных по данным сейсморазведки, на данном этапе геологического изучения территории, на взгляд авторов, может базироваться на методах сейсмостратиграфии с опорой на малоглубинные стратиграфические скважины ПАО «НК «Роснефти» [5]. Изучение сейсмофаций и их геологическая интерпретация на всех стадиях изучения геологического разреза дает возможность получить данные о присутствии в разрезе литофациальных, магматических, метаморфических комплексов, распространении, этапов тектонического развития, истории формирования.

Целью исследования является выявление в сейсмическом волновом поле методами сейсмостратиграфического анализа характерных, типичных сейсмофаций, указывающих на происхождение антиклиналей в локальных структурно-тектонических зонах шельфов морей северо-востока Якутии, для последующего изучения перспективных объектов и их классификации.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования являются шельфы морей северо-востока Якутии: Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского.

Материалом исследования послужили результаты сейсмических работ, проведенных в разные годы в пределах шельфов морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского.

Методология исследования основана на обобщении и анализе имеющихся данных сейсморазведочных исследований на основе сейсмостратиграфии как актуального метода интерпретации временных и глубинных разрезов. Сейсмостратиграфия, как основной метод изучения сейсмических данных изучаемого региона, широко используется авторами статей о геологии шельфа, например О.Г. Эпштейном, А.М. Никишиным, В.Г. Заварзиной [6–8]. Авторы статьи в качестве примера для выявленных характерных типовых сейсмофаций основных структур шельфов северных морей использовали материалы ранее опубликованной статьи и отчета СВКНИИ ДВО РАН (рис. 1) [9].

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматриваемая территория характеризуется сложным строением, складывающимся из платформенного, межплатформенного (Гиперборея, Сибирь), прибрежно-морского, коллизионного (Южно-Ануйская сутура, Новосибирско-Чукотская надвиговая зона), океанического и тектоно-магматического (Северный Ледовитый океан, хребет Гаккеля, Арктический плюм) этапов развития [1, с. 496]. На каждом из названных этапов формировался свой тип структур, имеющих характерные особенности проявления в сейсмическом волновом поле. Из ряда структур, образованных в различных структурно-тектонических, магматических, литофациальных условиях, подобраны объекты, в которых, в сейсмическом волновом поле, наиболее отчетливо проявляется тот или иной структурообразующий фактор – структурно-тектонический, магматический и их комбинации. К типовым сейсмофациальным комплексам территории отнесены отражения в сейсмическом волновом поле (СВП) образований фундамента, осадочного чехла, проявлений магматизма и этапов тектонического развития.

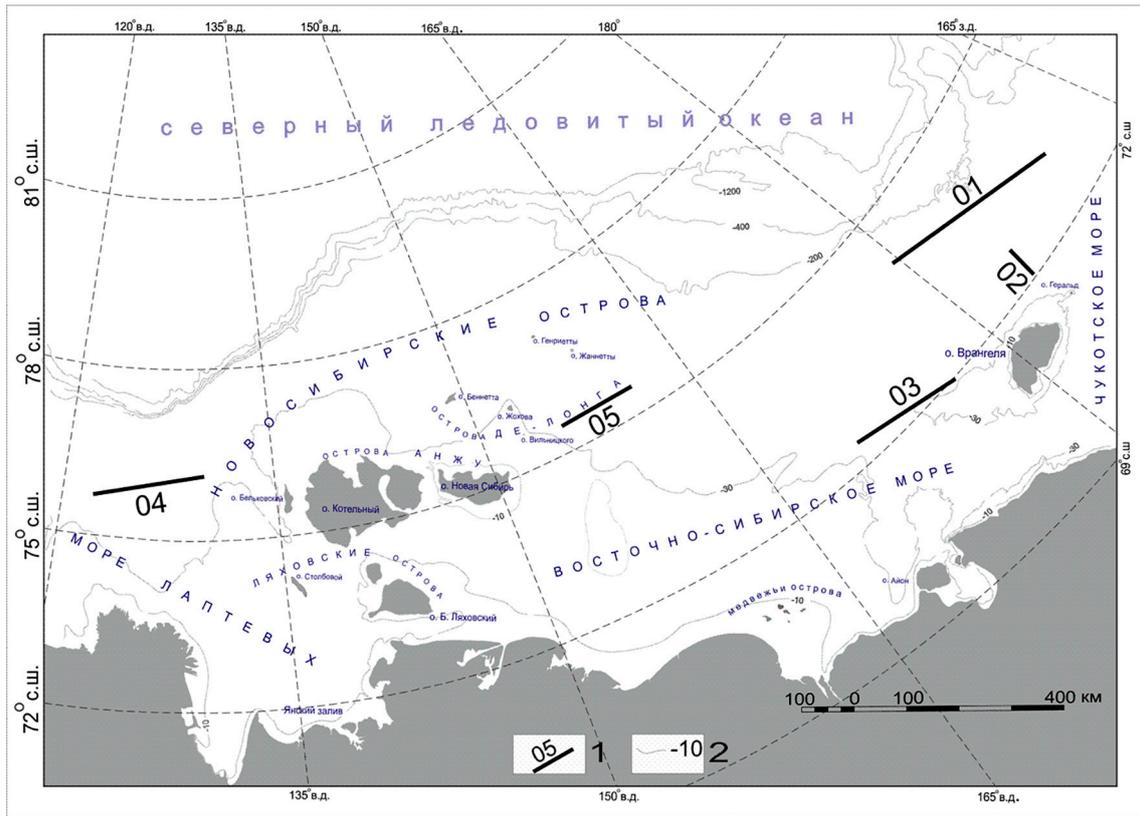


Рис. 1. Обзорная схема сейсмических профилей. Условные обозначения: 1 – глубинные и временные разрезы, использованные в статье; 2 – батиметрия

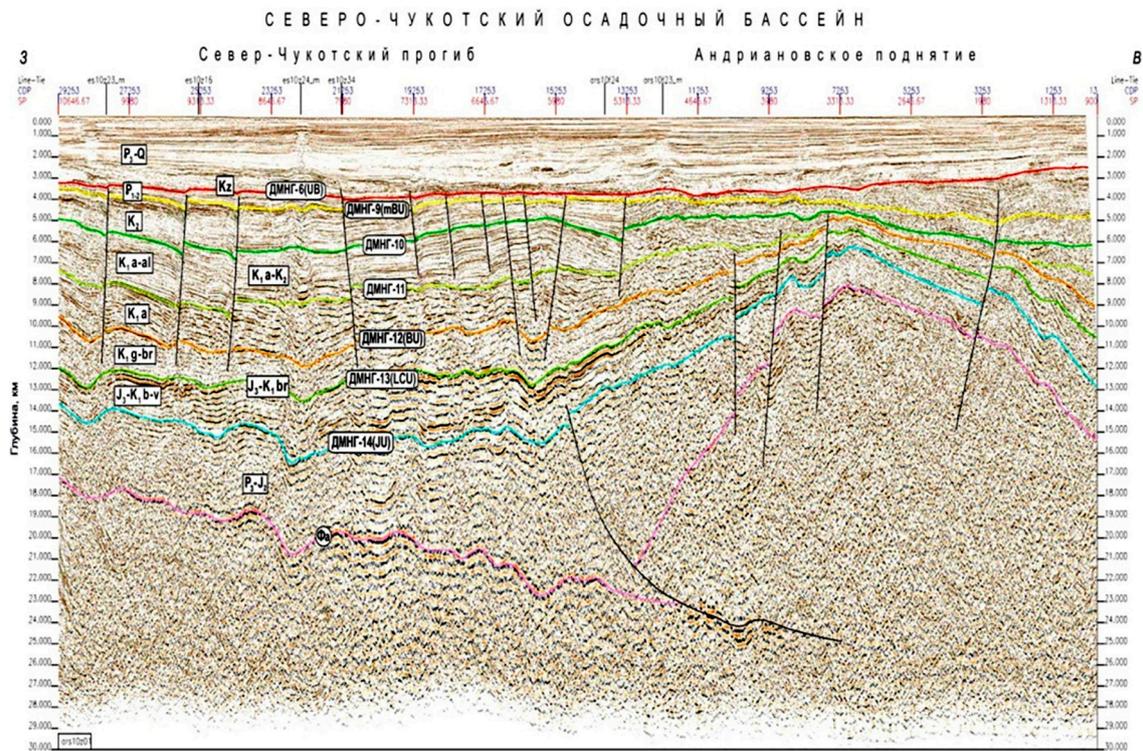


Рис. 2. Глубинный сейсмогеологический разрез по профилю 01 через западную часть Андреановского поднятия [8]

Результаты изучения сейсмофациальных особенностей ряда структур шельфа, особенности стратификации разреза, представлены в публикациях и докладах авторов настоящей статьи [10–12]. Авторы не ставят целью полное обобщение всех сейсмических данных рассматриваемого региона ввиду их большого объема и затрат на их приобретение.

Всего выявлено пять типов антиклинальных структур.

Первый тип – структурно-тектонический. К северо-востоку от острова Врангеля, на краевой части шельфа сейсморазведочными работами выявлено Андриановское поднятие (рис. 2) [2]. Поднятие полностью скрыто под верхним структурным этажом. Его изучение методами сейсмостратиграфии показало, что оно относится к надвиговым антиклиналям рампового типа [11]. Ее формирование обусловлено горизонтально-сдвиговыми, субширотными, межплитными дислокациями. Внутренняя структура поднятия отражается в сейсмическом волновом поле (СВП) до сейсмической границы «Фа» (СГФа), являющегося акустическим фундаментом моря Лаптевых, Восточно-Сибирского моря (ВСМ) (рис. 2) [2]. Структура конседментационного типа, присутствуют склоновые сейсмофации [11]. Индексация сейсмофаций, интерпретация волновой картины приведена по варианту авторов [9].

Второй тип антиклиналей отнесен к коллизионным антиклиналям тыловой части надвига. К югу от Андриановского поднятия выявлена сложно-построенная, деформированная зона, соответствующая, на взгляд авторов, структуре коллизионного типа в виде куполовидных зон выдавливания, тыловой части Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны (НЧНЗ) (рис. 3). Внутренняя часть структуры прослеживается до СГФа на глубине около 5 км, перекрыта верхним структурным этажом [4]. В отличие от Андриановского поднятия ее формирование проходило в относительно короткий этап, перед размывом и осушением территории в начале палеогена. Аналогичные структуры присутствуют в северной части НЧНЗ. Как показано в исследовании Роснефти, примыкающие склоновые структуры Мамонтовой ступени гряды Врангеля – Геральда, в пределах которой находится рассматриваемый разрез, являются аналогами элсмирского комплекса Аляски, являющегося одним из основных поисковых объектов Восточной Арктики [5].

Третий тип структур отнесен к денудированным антиклиналям центральной части Чукотско-Новосибирской надвиговой зоны. К югу и западу от острова Врангеля сейсморазведкой выявлен ряд структур нетипичного для осадочных пород типа. В сейсмическом волновом поле эти структуры в виде поднятий сложены породами с деформированной внутренней структурой, разбитой многочисленными тектоническими нарушениями. Эта толща соответствует акустическому фундаменту. Присутствуют склоновые сейсмофации. СГФа прослеживается вверх по поверхности размыва до донных отложений и дна моря (Шелагское, Барановское и другие поднятия) [2]. Кровля поднятий полностью размывта и находится в мелководной части шельфа. К югу, по всей шельфовой зоне, поднятия сменяются многокилометровой толщей, занимающей весь осадочный чехол, с пенепленизированной кровельной частью. Вся толща слагает Новосибирско-Чукотскую надвиговую зону (НЧНЗ) по всей мелководной части морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского [4, 7, 10].

Четвертый тип структур связан с аллохтонами отдельных надвиговых пластин. В пределах надвиговой зоны геофизическими методами выявлены протяженные рифтовые и горстовые зоны долготного простирания [2]. Часть этих зон локализует и разделяет краевые поднятия, рассмотренные выше. Во внешней части НЧНЗ, где в ее толще в ряде сегментов присутствуют сейсмофации надвигов, видно, что дислокации являются ответвлениями от детачмента, по которым шли горизонтальные перемещения крупных покровных пластин в ходе формирования надвиговой зоны, приведших к образованию протяженных, узких рифтов. Аллохтоны пластин во внешней части НЧНЗ образуют антиклинальные структуры, где могут сформироваться ловушки углеводородов.

К пятому типу отнесены структуры подошвенного вдвига, разделяющиеся по времени образования и составу пород вдвиговых частей на два подтипа. На западной периклинали Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны, в центральной части моря Лаптевых, в полосе ее стыка с тектоно-магматической зоной хребта Гаккеля (ТМЗХГ), изучены антиклинальные структуры двух типов. Первый подтип (рис. 4, Б) примыкает с запада к Лазоревской дислокации (детачменту), контролирующей НЧНЗ (рис. 4, А). Второй подтип примыкает к тектоно-магматической зоне хребта Гаккеля (ТМЗХГ) с востока. Оба

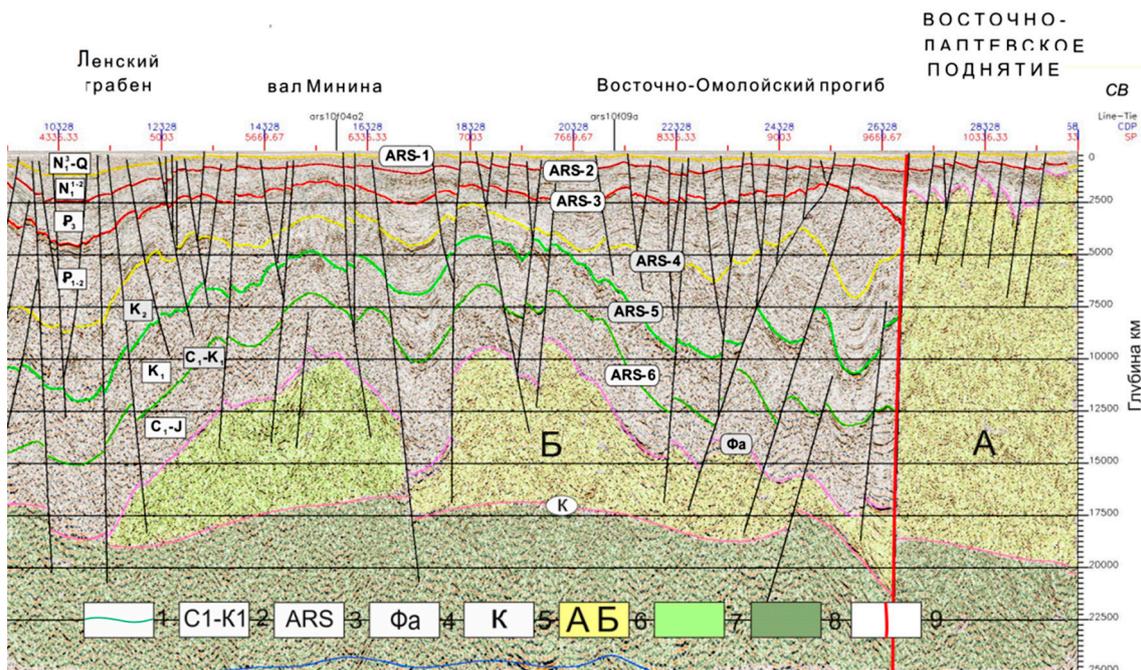


Рис. 4. Фрагмент глубинного сейсмогеологического разреза в центральной части моря Лаптевых по профилю 04 с дополнениями: 1 – отражающие горизонты; 2 – индексы отражающих горизонтов (несогласия ARS-5 и ARS-4 разделяют осадочный чехол на карбон-нижнемеловой (?), верхнемеловой и кайнозойский комплексы. Сейсмический горизонт ARS-6 приурочен к кровле карбон-юрского (?) подкомплекса ARS-3 приурочен к кровле палеоцен-эоценового, ARS-2 – олигоценного, ARS-1 – ниже-среднемиоценового подкомплекса); 3 – геологические индексы; 4 – акустический фундамент; 5 – отражающий горизонт K (1–5 по [9]); 6 – А) Новосибирско-Чукотская надвиговая зона, Б) локальная антиклинальная структура Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны; 7 – локальная антиклиналь; 8 – фундамент; 9 – Лазоревский глубинный разлом

В истории формирования магматического плюма Де Лонга выделяются два этапа – среднемиоценовый и верхнемиоценовый – плейстоценовый. Наблюдаемая интрузия в основании осадочного чехла Мальвийского прогиба соответствует, вероятнее всего, первому этапу.

Помимо рассмотренных антиклиналей, в верхнем и нижнем структурных этапах разреза известны проявления сейсмофаций, отражающих существование структур, с которыми связываются ловушки углеводородов неантиклинального типа, среди которых могут быть ловушки литологического и (или) тектонического ограничения на бортах впадин, прогибов. Примером объектов такого типа могут быть склоновые литофации размыва выше рассмотренных структур (рис. 2–4). Часть из них имеют тектонические ограничения вверх по склону.

В осадочном чехле части моря Лаптевых присутствуют перспективные структуры со сложным внутренним строением, сформированные в ходе внедрения Арктического плюма в нижний и верхний струк-

турные этажи, в том числе в основании Новосибирско-Чукотской надвиговой зоны.

Заключение

Набор выявленных сейсмофаций характеризует отражение в сейсмическом волновом поле структурно-тектонических, магматических особенностей этапов формирования локальных структур в шельфовой части морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского. Изучение материалов продолжается. Предлагаемые типы антиклиналей будут пополнены. Открывается возможность классификации изученных структур по времени образования с привязкой к этапам структурно-тектонического развития региона, опирающихся на стратиграфические скважины Роснефти, что представляется немаловажным для последующего районирования локальных объектов с точки зрения их перспективности на выявление в них залежей углеводородов.

Готовятся дальнейшие публикации по теме с учетом наработок, отраженных в статьях и анализе материалов прошлых лет,

где будут показаны представления авторов о перспективах нефтегазоносности бассейнов и локальных объектов рассматриваемой территории.

Авторы выражают искреннюю признательность авторам статей, отчета СВКНИИ ДВО РАН, материалы которых использованы в работе.

Список литературы

1. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республика Саха (Якутия). М.: Наука, 2001. 571 с.
2. Виноградов В.А., Горячев Ю.В., Гусев Е.А., Супруненко О.И. Осадочный чехол Восточно-Арктического шельфа России и условия его формирования в системе материк – океан // 60 лет в Арктике, Антарктике и Мировом океане: сборник трудов ВНИИОкеангеология (Санкт-Петербург, 21 ноября 2008 г.). СПб.: ВНИИОкеангеология, 2008. С. 63–78.
3. Верниковский В.А., Добрецов Н.Л. Геодинамическая эволюция Северного Ледовитого океана и современные проблемы в геологических исследованиях Арктики // Вестник РАН. 2015. Т. 85, № 5–6. С. 412–419.
4. Соколов С.Д., Тучкова М.И., Ганелин А.В., Ганелин А.В., Бондаренко Г.Е., Лейер П. Тектоника Южно-Анхойской сuture (Северо-Восток Азии) // Геотектоника. 2015. № 1. С. 5–30.
5. Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Колобакин А.А., Комиссаров Д.К., Бородулин А.А., Обметко В.В., Попова А.Б., Данилкин С.М., Васильева И.С., Тимошенко Т.А., Александрова Г.Н., Гатовский Ю.А., Сулова А.А., Никишин А.М. Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Геология нефти и газа. 2024. № 3. С. 19–30.
6. Эпштейн О.Г., Длугач А.Г., Старовойтов А.В. Важнейшие особенности строения, литологического состава и мощности покрова четвертичных отложений в восточной части Баренцева моря // Доклады Академии наук. 2019. Т. 485, № 3. С. 331–334. DOI: 10.31857/S0869-56524853331-334.
7. Никишин А.М., Петров Е.И., Старцева К.Ф., Родина Е.А., Посаментьер Х., Фулджер Дж., Глубов И.Ф., Морозов А.Ф., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А., Фрейман С.И., Афанасенков А.П., Безьязиков А.В., Доронина М.С., Никишин В.А., Сколотнев С.Г., Черных А.А. Сейсмостратиграфия, палеогеография и палеотектоника Арктического глубоководного бассейна и его российских шельфов. М.: ГИН РАН, 2022. 157 с.
8. Заварзина В.Г., Шапабаева Д.С., Захарова О.А. Новые данные о геологическом строении и перспективах нефтегазоносности восточной части шельфа Восточно-Сибирского моря // Геология и геофизика. 2023. Т. 64, № 7. С. 1018–1032.
9. Петровская Н.А., Савишкина М.А. Сопоставление сейсмокомплексов и основных несогласий в осадочном чехле шельфа Восточной Арктики // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2014. Т. 9. № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/39_2014.pdf (дата обращения: 01.09.2024).
10. Оболкин А.П., Ситников В.С., Слепцова М.И., Севостьянова Р.Ф. Изучение Андриановского поднятия на шельфе Северо-Востока методами сейсмостратиграфического и структурного анализов // Геология и нефтегазовый потенциал Республики Саха (Якутия): проблемы разведки и освоения: сборник тезисов Всероссийской научной конференции (Якутск, 11 августа 2022 г.). Киров: Изд-во МЦИТО, 2022. С. 72–74.
11. Оболкин А.П., Ситников В.С., Слепцова М.И., Севостьянова Р.Ф. Изучение возможного проявления в сейсмическом волновом поле Южно-Анхойской сuture в основании Тастахского прогиба северо-востока Якутии // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2022. № 1 (49). С. 57–62.
12. Оболкин А.П., Слепцова М.И. Особенности сейсмогеологических характеристик Анабаро-Оленекской структурной зоны, шельфов моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря // Успехи современного естествознания. 2023. № 9. С. 54–62. DOI: 10.17513/use.38103.
13. Моисеев А.В., Лучицкая М.В., Соколов С.Д. Вулканы и гранитоиды мыса Святой Нос (Восточная Арктика) // Доклады Российской Академии наук. Науки о Земле. 2020. Т. 492, № 2. С. 11–15. DOI: 10.31857/S2686739720060122.