ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ СЕВЕРО-ЧУКОТСКОГО ПРОГИБА.

Старцева Ксения Федоровна, Никишин Анатолий Михайлович,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Введение

В последние годы для Северо-Чукотского прогиба были получены новые сейсморазведочные данные, позволяющие существенно уточнить его геологическое строение и историю развития. В настоящей работе приводятся результаты увязки новых данных, а также данных бурения, донного опробования и магниторазведки с тектоническими событиями, проявленными в геологической истории сопряженных территорий. На основании выполненного анализа в истории погружения Северо-Чукотского прогиба выделены следующие этапы: 1) синрифтовое растяжение в апт-альбское время; 2) начало пострифтового погружения в позднем мелу; 3) воздымание и деформации на границе мела — палеогена; 4) эпизод растяжения в раннем эоцене, формирование системы многочисленных низкоамплитудных сбросов; 5) инверсионные деформации в олигоцене; 6) относительно спокойные тектонические обстановки в неоген-четвертичное время.

Данные и методы

Большую роль в изучении геологии Российской Арктики играют данные сейсморазведки. В настоящей работе использовались сейсморазведочные профили, полученные в 2011 – 2015 гг. компаниями МАГЭ, СМНГ, ДМНГ, ION-GXT, а также в рамках государственной программы исследований Арктического шельфа: Арктика-2011, Арктика-2012, Арктика-2014.

Для создания модели геологического строения Северо-Чукотского прогиба применен метод сейсмостратиграфии. Он заключается в выделении на сейсмических профилях тектоно-стратиграфических комплексов, отвечающих определенным этапам тектонической истории региона. Стратиграфическая привязка комплексов, выделяемых в Северо-Чукотском прогибе, выполнялась на основе корреляции с данными бурения на шельфе Аляски [Ilhan, Coakley, 2018; Sherwood et al., 2002] и в районе хребта Ломоносова [Backman et al., 2008; Stein, 2008], донного опробования в районе поднятия Менделеева [Skolotnev et al., 2019] и возрастов линейных магнитных аномалий в Евразийском бассейне [Chernykh, Krylov, 2011; Nikishin et al., 2018]. На основе новой геологической модели Северо-Чукотского прогиба восстановлена история его формирования.

Тектоно-стратиграфия Северо-Чукотского прогиба

Северо-Чукотский прогиб расположен в северо-западной части Чукотского моря к северу от о. Врангеля (рис. 1). Мощность осадочного чехла в наиболее погруженных частях прогиба, вероятно, достигает 20 км [Поселов и др., 2012]. Сейсмокомплексы, выделяемые в Северо-Чукотском прогибе, имеют продолжение в бассейнах Восточно-Сибирского моря, поэтому их формирования рассматривается в связи с процессами, проявленными не только на суше, непосредственно прилегающей к Северо-Чукотскому прогибу (о. Врангеля), но и на островах Де-Лонга и Новосибирских островах.

Разрез осадочного чехла Северо-Чукотского прогиба начинается с апт-альбского комплекса заполнения отдельных впадин в акустическом фундаменте, разделенных поднятиями [Nikishin et al., 2017]. Впадины интерпретируются как структуры синрифтового растяжения. Поскольку в Северо-Чукотском бассейне отложения синрифтового комплекса не вскрыты бурением, их возраст устанавливается на основе соотнесения с тектоническими событиями, проявившимися в истории сопряженной суши. Главным тектоническим событием, определившим развитие рассматриваемого региона в мезозое-кайнозое, является Верхояно-Чукотская орогения. Основные коллизионные процессы Верхояно-Чукотской орогении происходили в раннем мелу, и впоследствии (в позднем апте – альбе) территория

испытывала постколлизионное растяжение и внедрение гранитных интрузий [Amato et al., 2015; Miller et al., 2018]. На о. Врангеля основная фаза складчатости приходится на позднеюрское – раннемеловое время [Вержбицкий и др., 2015]. Косвенное свидетельство в пользу того, что формирование Северо-Чукотского прогиба началось не позднее апт-альбского времени, наблюдается на сейсмических профилях, проходящих вблизи поднятия Врангеля-Геральда. Сейсмокомплексы осадочного чехла Северо-Чукотского прогиба с угловым несогласием перекрывают деформированные отложения поднятия Врангеля-Геральда, вскрытые в обнажениях на суше [Nikishin et al., 2017].

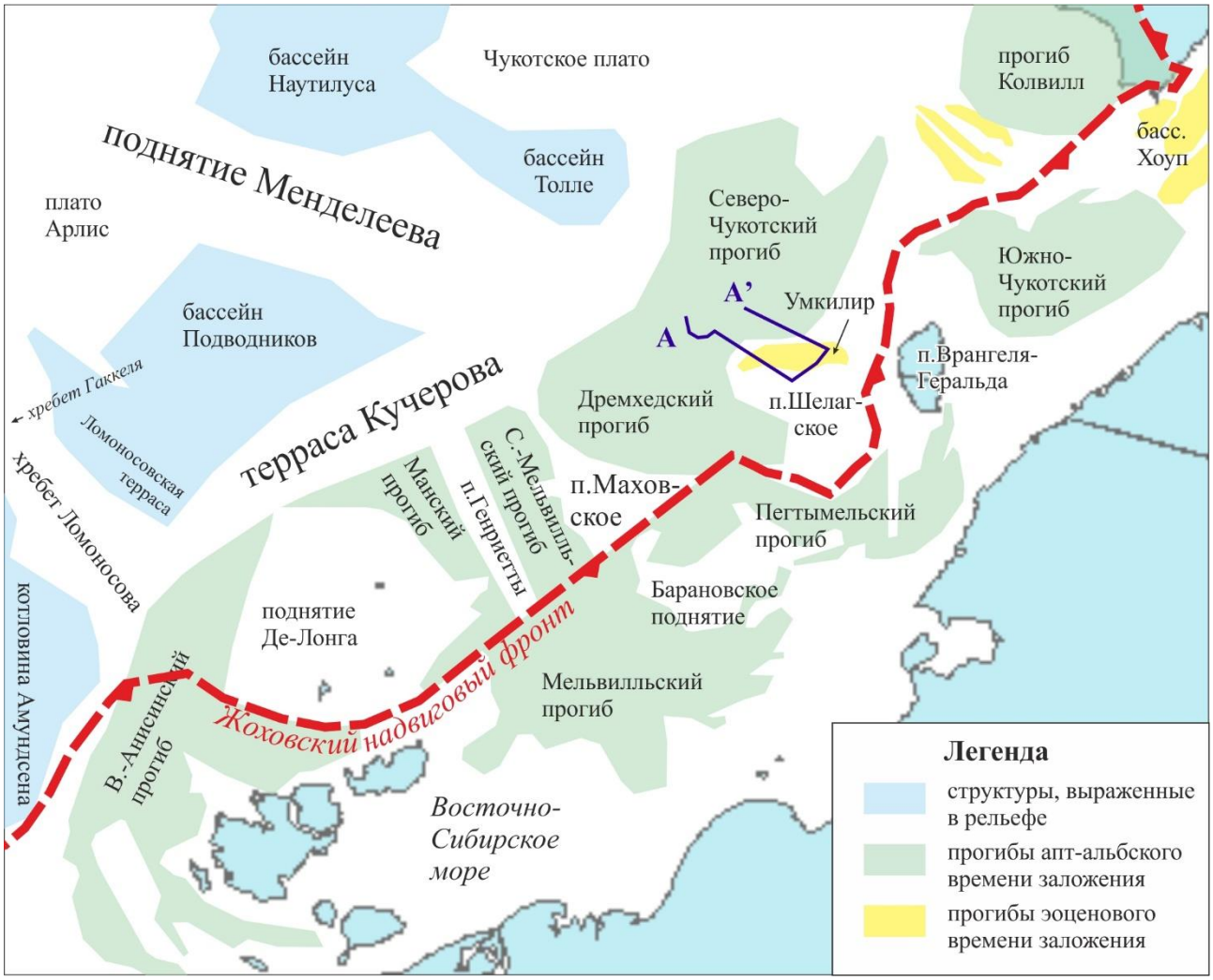

Рис 1. Схема тектонического районирования Восточной Арктики (составлено по [Nikishin et al., 2015]).

На территории Новосибирских островов коллизионные деформации завершились в раннем мелу. Позднеаптские отложения с угловым несогласием перекрывают палеозойско – нижнеюрский складчатый комплекс [Косько и др., 2013]. Характерный для эпохи синрифтового растяжения базальтовый магматизм наиболее широко проявлен на островах Де-Лонга. Покровы базальтов с возрастом 113-130 млн лет [Drachev, Saunders, 2006] перекрывают нижнепалеозойский складчатый комплекс. На сейсмических профилях, проходящих вблизи поднятия Де-Лонга, в подошве грабенообразных впадин в основании чехла наблюдаются яркие волновые аномалии, которые могут быть связаны в том числе с границей раздела плотных высокоскоростных базальтов и более рыхлых терригенных песчано-глинистых пачек [Drachev et al., 2010; Nikishin et al., 2017].

В пользу широкого распространения раннемелового рифтинга свидетельствуют данные бурения и драгирования в других частях Восточной Арктики. В районе хребта Менделеева (поднятие Трукшина) пробурены базальты, возраст которых по данным U-Pb датировки

составил 127 млн лет [Морозов и др., 2013]. В северной части Чукотского плато драгированием также были подняты базальты, и их вероятный возраст составляет 82–100 и 112–124 млн лет [Brumley, 2014].

Следующий комплекс, выделяемый на сейсмических профилях в Северо-Чукотском прогибе – пострифтовый комплекс верхнего мела (100 – 66 млн лет). Он имеет более выдержанные мощности, чем нижележащий синрифтовый. Подошва комплекса, вероятно, соответствует Сеноманскому несогласию, вскрытому скважинами на Аляскинском шельфе Чукотского моря [Ilhan, Coakley, 2018].

Выше по разрезу выделяется мощный (по предварительным оценкам, до 6–7 км) клиноформный комплекс (66 – 45 млн лет), который связывается с эпохой деформаций на рубеже мела – палеогена, 72–64 млн лет назад [Miller et al., 2018; Вержбицкий и др., 2015]. Подошве комплекса соответствует угловое несогласие MBU (Mid-Brookian Unconformity) на шельфе Аляски. Предполагается, что в результате воздымания и эрозии формировалось большое количество осадочного материала, которым Северо-Чукотский прогиб заполнялся с юга на север.

По подошве значительной (более 500 км) трансгрессии выделяется следующий, средне-позднеэоценовый синрифтовый комплекс (45 – 34 млн лет), также имеющий клиноформное строение. В некоторых частях прогиба началу формирования этого комплекса соответствует кратковременная фаза регионального малоамплитудного сбрососообразования. Однако с этой же фазой деформаций связаны и другие, более крупные структуры – к примеру, грабен Умкилир вблизи поднятия Шелагское (рис. 2), и другие отрицательные структуры в бассейнах Чукотского и Восточно-Сибирского морей.

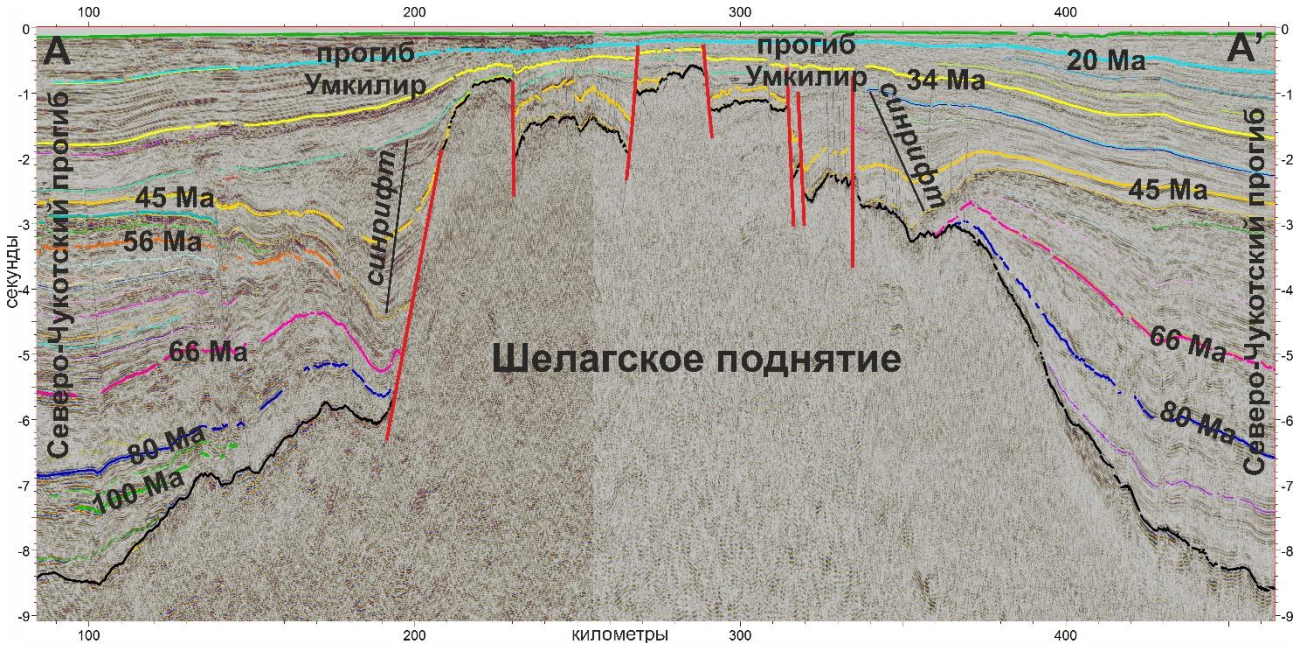

Рис 2. Средне-эоценовое растяжение в Северо-Чукотском прогибе (положение композитного профиля показано на рис. 1)

Подошва олигоцен – раннемиоценового синтектонического комплекса (34–20 млн лет) выделена по корреляции сейсмических горизонтов с возрастами линейных магнитных аномалий в Евразийском бассейне [Никишин и др., 2019]. подошве и кровле комплекса развиты угловые несогласия, которые указывают на формирование в условиях возобновляющихся деформаций сжатия. В геометрии клиноформ данного комплекса выражен переход от быстрой проградации к аггрдации.

Неоген-четвертичный комплекс регионального чехла (20–0 млн лет) характеризуется плавными изменениями мощностей. К его подошве часто приурочены эрозионные границы, проявления гравитационной тектоники, отложения донных течений [Freiman et al., 2018].

История Северо-Чукотского прогиба по результатам сейсмической интерпретации

В соответствии с тектоно-стратиграфическими комплексами, выделенными по результатам сейсмической интерпретации, были выделены следующие этапы тектонической истории Северо-Чукотского прогиба:

1) Синрифтовое растяжение ~125-100 Ма, заложение ряда локальных впадин;
2) Начало пострифтового погружения 100-66 Ма;
3) Этап воздымания 66-45 Ма, начало формирования клиноформного комплекса;
4) Синрифтовое растяжение 45–34 Ма, формирование грабенов, сети малоамплитудных сбросов;
5) Этап воздымания 34–20 Ма;
6) Относительно спокойные тектонические обстановки 20–0 Ма.

Заключение

На основе интерпретации новых данных сейсморазведки в контексте основных тектонических событий, проявленных в истории региона, предложена новая поэтапная модель формирования Северо-Чукотского прогиба начиная с аптского времени раннего мела. Новая модель увязывает новые геофизические данные с уже имеющимися результатами бурения, донного опробования, магниторазведки.

Работа поддержана РФФИ (гранты № 18-05-70011 «Ресурсы Арктики» и 18-35-00133).

Благодарность

Авторы признательны коллегам из Москвы, Санкт-Петербурга и Новосибирска за обсуждение наших материалов. Мы благодарны ОАО МАГЭ, СМНГ, ДМНГ и подразделению ION GXT за предоставленную возможность использовать сейсмические данные, а также компании Schlumberger за предоставленную лицензию к системе Petrel для интерпретации сейсмических данных.

Список литературы

Вержбицкий, В.Е., Соколов, С.Д., Тучкова, М.И. Современная структура и этапы тектонической эволюции острова Врангеля (Российская Восточная Арктика) // Геотектоника. – 2015. – Т. 2015. – № 3. – С. 3–35.

Косько, М.К., Соболев, Н.Н., Кораго, Е.А., Проскурнин, В.Ф., Столбов, Н.М. Геология Новосибирских островов – основа интерпретации геофизических данных по Восточно-Арктическому шельфу России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8. – № 2.

Морозов, А.Ф., Петров, О.В., Шокальский, С.П., Кашубин, С.Н., Кременецкий, А.А., Шкатов, М.Ю., Каминский, В.Д., Гусев, Е.А., Грикуров, Г.Э., Рекант, П.В., Шевченко, С.С., Сергеев, С.А., Шатов, В.В. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области Центрально-Арктических поднятий // Региональная геология и металлогения. – 2013. – Т. 53. – С. 34–55.

Никишин, А.М., Старцева, К.Ф., Вержбицкий, В.Е., Клутинг, С., Малышев, Н.А., Петров, Е.И., Посаментиер, Х., Фрейман, С.И., Линева, М.Д., Жуков, Н.Н. Сейсмостратиграфия и этапы геологической истории осадочных бассейнов Восточно-Сибирского и Чукотского морей и сопряженной части Амеразийского бассейна // Геотектоника. – 2019. – Т. 6. – С. 1–24.

Поселов, В.А., Жолондз, С.М., Трухалев, А.И., Косько, М.К., Поселова, Л.Г., Буценко, В.В., Павленкин, А.Д., Верба, В.В., Ким, Б.И. Карта мощности осадочного чехла Северного Ледовитого океана // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. – 2012. – Т. 8.

Amato, J.M., Toro, J., Akinin, V. V., Hampton, B.A., Salnikov, A.S., Tuchkova, M.I. Tectonic evolution of the Mesozoic South Anyui suture zone, eastern Russia: A critical component of paleogeographic reconstructions of the Arctic region // Geosphere. – 2015. – Vol. 11. – No. 5. – P. 1530–1564.

Backman, J., Jakobsson, M., Frank, M., Sangiorgi, F., Brinkhuis, H., Stickley, C., O'Regan, M., Løvlie, R., Pälike, H., Spofforth, D., Gattacecca, J., Moran, K., King, J., Heil, C. Age model and core-seismic integration for the Cenozoic Arctic Coring Expedition sediments from the Lomonosov Ridge // Paleoceanography. – 2008. – Vol. 23. – No. 1. doi: 10.1029/2007PA001476

Brumley K. Geologic history of the Chukchi Borderland, Arctic Ocean // 2014. http://purl.stanford.edu/hz857zk1405

Chernykh A.A., Krylov A.A. Sedimentogenesis in the Amundsen Basin from geophysical data and drilling results on the Lomonosov Ridge // Dokl. Earth Sci. – 2011. – Vol. 440. – No. 2. – P. 1372–1376.

Drachev S., Saunders A. The Early Cretaceous Arctic LIP: its geodynamic setting and implications for Canada Basin opening // Proceedings of the Fourth International Conference on Arctic Margins / ed. R.A. Scott, D.K. Thurston. Dartmouth, Nova Scotia, Canada: US Department of the Interior MMS, 2006. P. 216–223.

Drachev S.S., Malyshev N.A., Nikishin A.M. Tectonic history and petroleum geology of the Russian Arctic Shelves: an overview // Geol. Soc. London, Pet. Geol. Conf. Ser. – 2010. – Vol. 7. – No. 1. – P. 591–619.

Freiman, S., Nikishin, A.M., Gaina, C., Petrov, E. Cretaceous plate tectonic model of Russian Arctic shelf // 20th EGU General Assembly. Vienna, Austria: , 2018. P. 2200.

Ilhan I., Coakley B.J. Meso–Cenozoic evolution of the southwestern Chukchi Borderland, Arctic Ocean // Mar. Pet. Geol. – 2018. – Vol. 95. – P. 100–109.

Miller, E.L., Meisling, K.E., Akinin, V. V., Brumley, K., Coakley, B.J., Gottlieb, E.S., Hoiland, C.W., O'Brien, T.M., Soboleva, A., Toro, J. Circum-Arctic Lithosphere Evolution (CALE) Transect C: displacement of the Arctic Alaska–Chukotka microplate towards the Pacific during opening of the Amerasia Basin of the Arctic // Geol. Soc. London, Spec. Publ. – 2018. – Vol. 460. – No. 1. – P. 57–120.

Nikishin, A.M., Petrov, E.I., Malyshev, N.A., Ershova, V.P. Rift systems of the Russian Eastern Arctic shelf and Arctic deep water basins: link between geological history and geodynamics // Geodyn. Tectonophys. – 2017. – Vol. 8. – No. 1. – P. 11–43.

Nikishin, A.M., Gaina, C., Petrov, E.I., Malyshev, N.A., Freiman, S.I. Eurasia Basin and Gakkel Ridge, Arctic Ocean: Crustal asymmetry, ultra-slow spreading and continental rifting revealed by new seismic data // Tectonophysics. – 2018. – Vol. 746. – P. 64–82.

Nikishin A.M., Petrov E.I., Malyshev N.A. Geological Structure and History of the Arctic Ocean. : EAGE Publications bv, 2015. 88 p.

Sherwood, K.W., Johnson, P.P., Craig, J.D., Zerwick, S.A., Lothamer, R.T., Thurston, D.K., Hurlbert, S.B. Structure and stratigraphy of the Hanna Trough, U.S. Chukchi Shelf, Alaska // Special Paper 360: Tectonic Evolution of the Bering Shelf-Chukchi Sea-Artic Margin and Adjacent Landmasses / ed. E.L. Miller, A. Grantz, S.L. Klemperer. Boulder. Colorado: Geological Society of America, 2002. P. 39–66.

Skolotnev, S., Aleksandrova, G., Isakova, T., Tolmacheva, T., Kurilenko, A., Raevskaya, E., Rozhnov, S., Petrov, E., Korniychuk, A. Fossils from seabed bedrocks: Implications for the nature of the acoustic basement of the Mendeleev Rise (Arctic Ocean) // Mar. Geol. – 2019. – Vol. 407. – P. 148–163.

Stein R. Arctic Ocean Sediments: Processes, Proxies, and Paleoenvironment / ed. R. Stein. : Elsevier Science, 2008. Vol. 1. 592 p.