

## Четвертичные отложения и рельеф Кандалакшского залива: история изучения и современные данные об их формировании

Рыбалко А.Е.<sup>1,2</sup>, Барымова А.А.<sup>1,2</sup>, Токарев М.Ю.<sup>3</sup>, Репкина Т.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, alek-rybalko@yandex.rul, spbu@spbu.ru*

<sup>2</sup> *ЦМИ МГУ, Москва, info@marine-rc.ru*

<sup>3</sup> *МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, dean@geol.msu.ru*

**Аннотация.** Изучение геологического строения Кандалакшского залива, началось почти 90 лет тому назад. Изучение четвертичного покрова было предпринято в 50-х годах XX века, в рамках экспедиции ИОРАН. Здесь были получены первые длинные керны, вскрывающие все литостратиграфические горизонты, вплоть до морены, проведены биостратиграфические исследования. Была также создана первая модель дегляциации Скандинавского ледника в беломорской впадине, сопровождающейся формированием приледникового бассейна. Следующий этап исследований связан с экспедициями ВСЕГЕИ (1969-1976 гг.). В этот период впервые были проведены сейсмоакустические исследования, разработана подробная литостратиграфическая схема, создан комплект геологических карт. На последнем этапе изучения геологии Кандалакшского залива резко повысилась роль сейсмоакустических исследований. Было установлено широкое развитие современных геодинамических и связанных с ними гравитационных процессов. В статье рассматривается сеймостратиграфическое и литостратиграфическое строение четвертичных отложений Кандалакшского залива, особое внимание уделяется формированию ледникового рельефа.

**Ключевые слова:** Кандалакшский залив, четвертичные отложения, сейсмоакустическое профилирование, ледниковые отложения, голоцен, история развития, приледниковый бассейн.

## Quaternary sediments and the relief of the Kandalaksha Bay: the history of the study and modern data on their formation

Rybalko A.E.<sup>1,2</sup>, Barymova A.A.<sup>1,2</sup>, Tokarev M.Yu.<sup>3</sup>, Repkina T.Yu.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Institute of Earth Sciences, SPSU, Saint Petersburg, alek-rybalko@yandex.rul, spbu@spbu.ru*

<sup>2</sup> *MRC MSU, Moscow, info@marine-rc.ru*

<sup>3</sup> *Lomonosov MSU, Moscow, dean@geol.msu.ru*

**Abstract.** The study of the geological structure of Kandalaksha Bay began almost 90 years ago. But a real investigation of the Quaternary cover was undertaken in the 50s of the XX century, as part of the IORAN expedition. Here, The first long core of bottom sediments were discovered, striping all lithostratigraphic horizons, down to the moraine, and biostratigraphic investigations were carried out. The first model of the deglaciation of the Scandinavian glacier in the White Sea basin was also created, accompanied by the formation of a periglacial Lake. The next stage of research is associated with the expeditions of VSEGEI (1969-1976). During this period, seismic-acoustic studies were carried out for the first time, a detailed lithostratigraphic scheme was developed, and a set of geological maps was created. At the last stage of studying the geology of Kandalaksha Gulf, the role of seismic-acoustic studies has sharply increased. The wide development of modern geodynamic and related gravitational processes was established. The article considers the seismic stratigraphic and lithostratigraphic structure of the Quaternary deposits of the Kandalaksha Gulf. Special attention is paid to the formation of the glacial relief.

**Key words:** Kandalaksha Bay, Quaternary sediments, seismoacoustic profiling, glacial sediments, Holocene, history, glacial basin.

Сто лет назад состоялась первая экспедиция А.Е. Ферсмана на Кольский полуостров, что сопоставляется с началом кольской геологии. Также 99 лет назад был организован институт Плавморнин в Мурманске (приемником которого является современный ПИНРО), и в 1921 году состоялся первый геологический рейс в Баренцево море на пароходе «С. Малыгин», что положило начало арктической морской геологии. Таким образом, Белое и Баренцево моря можно смело рассматривать как колыбель отечественных морских исследований. Главным объектом изучения этих первых морских геологов являлись донные осадки и рельеф, так как сами эти работы были направлены на воспроизводство рыбной базы.

В Белом море первые сведения о донных осадках были получены гидробиологами, которые начали проводить свои исследования здесь уже в XIX веке. Наибольший вклад в описание отложенного морского дна внес выдающийся гидробиолог К.М. Дерюгин, который впервые составил схемы распространения донных осадков, впервые указал на нахождение на значительных глубинах песков, описал железо-марганцевые конкреции (Дерюгин, 1928).

Первое литостратиграфическое описание четвертичных отложений Белого моря и характеристика этапов развития беломорского бассейна в позднечетвертичное время было дано И.К. Авиловым в 1956 году, который обобщил все материалы довоенных исследований (Авилов, 1956). Одновременно вопросы формирования морей вокруг Кольского полуострова затрагивались и при изучении четвертичных отложений суши. Наибольший вклад в изучение этой проблемы был внесен М.А. Лавровой (Лаврова, 1947), которая подробно рассмотрела этап дегляциации и наметила подробности развития в беломорской впадине послеледниковых трансгрессий и регрессий. Однако, наиболее существенный вклад в изучение истории развития Белого моря и стратиграфии позднечетвертичных отложений был внесен сотрудниками Беломорской экспедиции ИО АН СССР с 1964 по 1968 гг. Проведенные исследования впервые включали изучение длинных колонок с использованием литологических методов, палинологического и диатомового анализа. В составленной по результатам этих исследований стратиграфической схеме были выделены ледниковые, ледниково-озерные, ледниково-морские и морские отложения, а также переходные слои между двумя последними подразделениями. (Невесский, Медведев, 1973; Невесский и др., 1976).

Наибольший вклад в изучение литостратиграфии четвертичных отложений и донного рельефа Кандалакшского залива внесли работы ВСЕГЕИ (1971-1976 гг.). Эти работы включали площадное опробование донных осадков с помощью грунтовых трубок и ковшей-дночерпателей по сети масштаба 1:200000, а также впервые выполненные в этом районе совместно с МГУ сейсмоакустические работы (Спиридонов и др., 1985; Калинин и др., 1976). Результатом этих работ были комплект геологических карт, разработанная и основанная на данных палинологического, диатомового и микрофаунистического анализов первая стратиграфическая схема четвертичных отложений залива и палеогеографическая схема развития водных бассейнов в пределах акватории современного залива (Рыбалко, 1976).

Материалы геологосъемочных работ ВСЕГЕИ послужили основой для составления комплекта геологической карты масштаба 1:1000000 листов Q-35-37 (новая серия), (Государственная..., 2004), а также неоднократно использовались кольскими геологами для собственных региональных палеогеографических реконструкций (Афанасьев и др., 1976; Евзеров, 1996).

Вопросы формирования четвертичных отложений Кандалакшского залива были связаны также с исследованиями ИОРАН в рамках научно-целевой программы «Мировой океан» под руководством академика А.П. Лисицына (Лисицын, 2010). В это же время (2003-2006 гг.) в Белом море проводились комплексные работы ОАО МАГЭ с целью получения геолого-геофизической основы для подготовки комплекта Государственной геологической карты масштаба 1:1000000 3-го поколения на листе Q-35(36)-Апатиты. (Государственная..., 2004).

Значительный вклад в изучение геологии Кандалакшского залива внесли регулярные исследования, которые начали проводиться с Беломорской биологической станции (ББС) МГУ с начала 2000-х годов. Они включали геофизические работы, главным образом, сейсмоакустические, геологический пробоотбор, а в последние годы и бурение прибрежных озер. Одним из главных результатов этих регулярных наблюдений было установление роли гравитационных движений в формировании современных подводных ландшафтов. В последние годы было обращено большое внимание и на современные геодинамические движения (Шварев, 2018).

Завершая экскурс в историю изучения геологии Кандалакшского залива, а также палеогеографии его в позднем неоплейстоцене – голоцене, укажем, что как на заре развития геологических исследований в данном регионе, так и на современной стадии большое внимание уделялось исследованиям на берегах, которые непосредственно затрагивали вопросы развития Белого моря, как морского бассейна. Здесь надо, прежде всего, указать на широко развитое в настоящее время бурение озер.

В кернах полученных скважин выделялись границы смены морского озерным режимом, а методами абсолютного датирования и биостратиграфии определялся возраст этого события (Колька и др., 2013).

Кандалакшский залив представляет грабенообразный ров северо-западного простирания, протягивающийся от кутовой части до условной линии мыс Олений – мыс Чаваньга. Он состоит из двух четко различающихся по морфологии бассейнов: глубоководного грабена, по оси которого он выполнен мощной толщей верхнепротерозойских песчаников терской свиты. Эта наиболее глубоководная часть Белого моря замыкается у островов Средние луды. Далее он сильно сужается, глубоководная часть превращается в узкую извилистую ложбину, которая простирается до самой кутовой части. Глубины здесь обычно не превышают 60 м, а в самой вершине снижаются до 20 м.

Мощность четвертичного покрова и его строение чрезвычайно изменчивы. В осевой части залива она может достигать 60 м, но обычно составляет 20-50 м. Наибольшая информация об его строении получена в результате сейсмоакустического профилирования (Рыбалко и др., 2017).

В основании разреза рыхлых отложений залегает морена (тилл), представленная отложениями осташковского горизонта валдайского надгоризонта. На сейсмограммах они характеризуются нерегулярным, хаотическим типом записи с отдельными, довольно протяженными (до 10-20 км) отражающими рефлекторами. Характер залегания, в основном, облекающий, хотя на поднятиях кристаллического фундамента могут формироваться грядобразные формы. Мощность ледниковых отложений варьирует от первых до 25 м. Они сложены плотными сухими, серыми глинистыми песками с постоянным присутствием валунно-галечного материала, количество которого может достигать 50 % всего объема осадков.

Приведенные данные позволяют считать, что ледниковые отложения представлены двумя генетическими типами: основной и краевой (грядобразные положительные формы рельефа) моренами. Геологические данные позволяют выделить также поверхностный горизонт морен, возникающий при выносе мелкозема при таянии ледника, а также в результате воздействия современных волновых процессов. Картирование моренных гряд на дне Белого моря во многом помогло восстановить картину дегляциации в морском бассейне, характеризующуюся неоднократными осцилляциями ледника в период с 13000 до 9000 лет назад, когда ледник оставил пределы современной беломорской котловины.

Ледниковые образования перекрыты обычно сейсмогоризонтом, представленным полупрозрачными слоистыми осадками. По данным геологического пробоотбора им соответствует толща пепельно-серых песчанистых алевроглин с характерной ленточноподобной слоистостью и примесью гравия и гальки кристаллических пород. Общая мощность вскрытого пробоотбором горизонта обычно составляет первые метры, но может возрастать по геофизическим данным до 15-20м. Описываемые отложения образуют обширные выходы на поверхности морского дна, прикрытые мало мощным чехлом подводного перлювия (валунно-галечной отмостки), на глубинах менее 60 м.

Определение возраста данных отложений опирается на результаты спорово-пыльцевого анализа. Было выделено 5 палинокомплексов (Е.А. Спиридонова, 1980). В трех из них преобладали перигляциальные элементы флоры, которые разделены двумя толщами с преобладанием древесной пыльцы, главным образом сосны и ели. По данным диатомового анализа, выполненного Т.Е. Лодышкиной, в тех же разрезах, были выявлены в незначительных количествах морские и солоноватоводно-морские сублиторальных формы диатомей, пики развития которых четко коррелировались с периодами преобладания древесных растений. Это позволило сопоставить слои с господством пыльцы перигляциальных элементов со стадиями раннего, среднего и позднего дриаса, а разделяющие их горизонты – с межстадиями беллинг и аллеред (Алявдин и др., 1977). Таким образом, можно утверждать, что уже в позднем неоплейстоцене в Кандалакшском заливе существовал приледниковый водный бассейн с сезонным ледовым покровом.

Именно в этот период, во впадину Кандалакшского залива вместе с тальми водами поступила основная масса обломочного материала. Данные сейсмоакустического профилирования убедительно свидетельствуют, что в позднем неоплейстоцене происходил главный этап выравнивания донного постледникового рельефа. Господствующим процессом седиментации в это время было отло-

жение и переотложение обломочного материала из-за пульсационного поступления кластического материала и неустойчивой гидродинамики приледниковых бассейнов. Это приводило к локальным процессам размыва и переотложения обломочного материала.

Наиболее верхний сейсмоакустический горизонт, хорошо выделяемый по данным высокочастотного сейсмопрофилирования (Рыбалко и др., 2017), уверенно сопоставляется с толщей голоценовых нефелоидных отложений. Этот горизонт по данным геологического пробоботбора состоит из двух пачек. Нижняя из них, встречающаяся, только в наиболее полных разрезах, представлена тонкоотмученными глинами (плотными илами) коричневого цвета. Максимальная вскрытая мощность этих отложений составляет 1.2 м. Характерно присутствие в них аутигенных микроконкреций сульфидов, а также появление четких черных стяжений гидротроилита и редких обломков раковин морских моллюсков. По данным палинологического анализа (определения Е.А. Спиридоновой) было выделено два палинокомплекса, которые по ее данным можно соотнести с пребореальным и бореальным временем голоцена (Алявдин и др., 1977).

Верхняя пачка покровного сейсмостратиграфического комплекса представлена фациально разнообразными отложениями, которые обычно относятся к среднему и верхнему голоцену. В открытой части моря – это типичные нефелоидные осадки. Средняя мощность описываемой толщи составляет 4-5 метров, но может достигать 10-15 м. В прибрежной зоне (до глубин 10 м) этим осадкам соответствуют толщи песков и песчано-галечных образований, формирование которых связано с волновыми процессам. Мощность прибрежных песчаных тел может достигать 10 и более метров (Рыбалко и др., 2017).

По данным спорово-пыльцевого анализа в их составе выделяются четыре последовательно сменяющих друг друга по разрезу палинокомплекса. Первый из них соотносится со второй половиной бореального времени голоцена (Алявдин и др. 1977). Второй спорово-пыльцевой спектр, в котором присутствует пыльца широколиственных пород соответствует атлантическому времени голоцена (Джиноридзе и др. 1979). Третий и четвертый спорово-пыльцевые спектры отражают суббореальное и субатлантическое время голоцена.

Проведенные в 2005-2015 гг. исследования показали, что большую роль в формировании осадочного покрова Кандалакшского залива сыграли гравитационные процессы, выражающиеся в перемещении крупных оползней по относительно крутым склонам депрессий как самого центрального грабена, так и оперяющих депрессий губ и проливов. Одновременно было установлено широкое распространение палеодислокаций как на берегах, так и на дне, что свидетельствует о существовании в период всего существования палеобассейна современных геодинамических движений. Их проявление можно установить вплоть до настоящего времени, а сами эти движения являлись своеобразным «спусковым курком» для развития подводных гравитационных процессов. Результаты геодинамических процессов существенно моделировали рельеф морского дна, что позволяет многие участки его относить к структурно предопределенным.

Таким образом, за почти 90-летний период морские геологические исследования позволили оценить мощность и распространение чехла четвертичных отложений в Белом море и Кандалакшском заливе в частности, охарактеризовать его структуру, охарактеризовать литостратиграфическую схему строения, наметить основные возрастные этапы формирования палеобассейнов. Показано широкое развитие современных геодинамических и связанных с ними гравитационных процессов. Ближайшие задачи на будущее: объединение данных по суше и по морскому дну для создания целостной картины беломорского бассейна.

Работы были выполнены при поддержке грантов РФФИ 20-05-00613 и 18-05-00303.

## Литература

1. Авилов И.К. Мощность современных осадков и послеледниковая история Белого моря // Тр. Гос. океаногр. ин-та. 1956. Вып. 3. С. 45–47.
2. Алявдин Ф.А., Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е. др. Новые данные по геологии северо-западной части Белого моря // Природа и хозяйство Севера. Мурманск. 1977. Вып. 6. С. 30–38.

3. Афанасьев А.П., Евзеров В.Я., Каган Л.Я., Кошечкин Б.И., Лебедева Р.М., Рубинраут Г.С., Стрелков С.А. История формирования рельефа и рыхлых отложений северо-восточной части Балтийского щита. Л. Изд-во: Наука. 1976. 164 с.
4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000 000 (новая серия). Лист Q-(35)-37. Кировск. Объяснительная записка. СПб. Изд-во: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2004. 268 с.
5. Дерюгин К.М. Фауна Белого моря и условия ее существования // Л. Изд-во: Гос. гидрол. ин-т. 1928. 511 с.
6. Джиноридзе Р.Н., Кириенко Е.А., Калугина Л.В. и др. Стратиграфия верхнечетвертичных отложений северной части Белого моря // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М. Изд-во: Наука. 1979. С. 34–39.
7. Евзеров В.Я. Специфика формирования маргинальных гряд поздневалдайского ледникового покрова в условиях арктического климата // Геоморфология. 1996. № 2. С. 64–71.
8. Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л. Сейсмоакустические исследования на акваториях. М. Изд-во: Недра. 1983. 204 с.
9. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Г.Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене – голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 73–88.
10. Лаврова М.А. Основные этапы четвертичной истории Кольского полуострова // Известия Всесоюзного Географического общества. 1947. Т. 79. Вып. 1. С. 21–38.
11. Лисицын А.П. Природная среда водосбора Белого моря // Система Белого моря. Т. I. М. Изд-во: Науч. мир. 2010. С. 353–445.
12. Невесский Е.Н., Медведев В.С. Осадконакопление в Кандалакшском заливе в поздне- послеледниковое время // Процессы развития и методы исследования прибрежной зоны моря. М. Изд-во: Наука. 1973. С. 54–75.
13. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море – седиментогенез и история развития в голоцене. М. Изд-во: Наука. 1977. 235 с.
14. Рыбалко А.Е. Литология верхнечетвертичных отложений Кандалакшского залива и некоторые вопросы седиментогенеза на гляциальных шельфах. Автореферат канд. диссерт. Л. Изд-во: ВСЕГЕИ. 1976. 20 с.
15. Рыбалко А.Е., Журавлев В.А., Семенова Л.Р., Токарев М.Ю. Четвертичные отложения Белого моря и история развития современного беломорского бассейна в позднем неоплейстоцене-голоцене // Система Белого моря. Т. IV. Процессы осадкообразования, геология и история. М. Изд-во: Научный мир. 2017. С. 16–84.
16. Спиридонов М.А., Девдариани Н.А., Калинин А.В., Кропачев Ю.П., Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е., Спиридонова Е.А. Геология Белого моря // Советская геология. 1980. № 4. С. 46–56.
17. Шварев С.В., Никонов А.А. Морфотектоника бассейна Белого моря в сопоставлении с уточненными характеристиками исторических землетрясений // Материалы Всероссийской научной конференции «Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология»: сборник статей. М. Изд-во: КДУ, Университетская книга. 2018. С. 174–179.