

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ И НЕОТЕКТОНИКА БЕЛОМОРСКОГО РЕГИОНА

УДК 551.89(268.46)

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОЛОГИИ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БЕЛОГО МОРЯ И ДИСКУССИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЕГО ПАЛЕОГЕОГРАФИИ В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ–ГОЛОЦЕНЕ

© 2022 г. А. Е. Рыбалко^{a, b, c, *}, Т. Ю. Репкина^{d, e}, А. В. Старовойтов^f, Н. Е. Зарецкая^{d, g}, О. П. Корсакова^h, Д. А. Субетто^{c, e}, М. Ю. Токарев^f, П. Ю. Беляев^b

^aИнститут наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

^bФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

^cИнститут водных проблем Севера Карельского научного Центра РАН, Петрозаводск, Россия

^dИнститут географии РАН, Москва, Россия

^eРоссийский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

^fМосковский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

^gГеологический институт РАН, Москва, Россия

^hГеологический институт ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия

*e-mail: alek-rybalko@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.04.2022 г.

После доработки 28.06.2022 г.

Принята к публикации 18.08.2022 г.

Белое море является одним из наиболее изученных в геологическом отношении бассейнов. Первые схемы его развития были представлены И.К. Авиловым на основании данных, полученных до 1950 г., и М.А. Лавровой по результатам изучения береговых разрезов на Кольском и Онежском полуостровах и в Карелии. Работы ИО АН СССР в Белом море в 1964–1968 гг. под руководством Е.Н. Невесского позволили составить первую литостратиграфическую схему четвертичных отложений и выделить следующие этапы развития: ледниковый, ледниково-морской, переходный, морской. Начало развития первых приледниковых бассейнов датируется средним дриасом, при этом в бассейне реконструирована ледяная глыба с окружающими шельфовыми ледниками. Работы ВСЕГЕИ и МГУ в 1970–1986 гг. помимо пробоотбора, включали впервые примененные для целей геологической съемки шельфа (ГСШ) сейсмоакустическое профилирование и локацию бокового обзора. Были получены новые данные о распространении ленточно-слоистых ледниково-озерных отложений, указывающих на начало развития бассейна в беломорской впадине, куда в аллереде проникли баренцево-морские воды, занимавшие ее до борала. Дальнейшие исследования (МАГЭ, Севморгео, ИО РАН, ВСЕГЕИ) позволили получить принципиально новые геолого-геофизические материалы и построить геологические карты масштаба 1 : 1000000 на все дно Белого моря. В рамках этих работ были проведены специальные биостратиграфические исследования и датирование четвертичных отложений. Изучение изолированных от моря озерных котловин, выполненное специалистами КНЦ РАН, Института озероведения РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, РГПУ им. Герцена и Института географии РАН, позволили уточнить возраст и количество трансгрессивно-регрессивных циклов развития Белого моря в постледниковое время и оценить пределы распространения морских вод на территории современной суши. Также рассмотрены особенности проявления на Кольском полуострове неотектонических процессов и их влияние на развитие подводных гравитационных процессов.

Ключевые слова: Белое море, литостратиграфические исследования, стратиграфическая схема, палинология, ледниково-морские отложения, морской перлювий, литодинамические процессы, гляциоизостатическая трансгрессия, ледниковые шиты, сейсмодислокации

DOI: 10.31857/S2587556622060152

ВВЕДЕНИЕ

Белое море является единственным морем, которое находится внутри российских берегов. На настоящий момент это один из наиболее изучен-

ных в геологическом отношении районов континентального шельфа России. Тем не менее, многие вопросы истории развития данного бассейна и прилегающей суши до сих пор дискуссионны. К таким вопросам относятся: роль ледников в обра-

зовании беломорской котловины и четвертичного покрова; время возникновения последнего водного бассейна в котловине и характер этого бассейна; существование активного ледника последнего оледенения на ранних стадиях его развития; роль новейшей геодинамики в развитии Беломорья и т.д.

Целью данной статьи является изложение истории геологических исследований четвертичного покрова котловины Белого моря и его побережья, а также анализ последовательного развития взглядов на эволюцию Белого моря в позднем неоплейстоцене—голоцене.

ЭТАПЫ МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Начальный этап изучения. Систематическое изучение Белого моря началось с описания его берегов экспедиций под руководством М.Ф. Рейнеке, которая завершилась изданием “Атласа Белого моря и Лапландского берега”. Атлас включал 17 навигационных карт. В 1843 и 1850 гг. вышло “Гидрографическое описание северного берега России”, в котором были представлены основные топонимы, вошедшие в обиход научной литературы.

Первые сведения о донных осадках были получены гидробиологами в XIX в. Наибольший вклад в описание отложений морского дна внес К.М. Дерюгин, который выполнил первое региональное опробование рыхлых отложений, включавшее описание ковшовых проб донных осадков и их отбор (рис. 1). Он впервые составил схемы распространения донных осадков, указал на присутствие на значительных глубинах песков и описал железо-марганцевые конкреции (Дерюгин, 1928).

Первые геологические исследования донных осадков в Белом море связаны с именами Т.И. Горшковой и В.П. Зенковича, сотрудников Плавучего морского научно-исследовательского института (Горшкова, 1931). Обобщение эпизодических исследований, проведенных до 1941 и после 1945 г., включавшее первое литостратиграфическое описание четвертичных отложений Белого моря и характеристику этапов развития беломорского бассейна в позднечетвертичное время, было проведено И.К. Авиловым (1956).

Одновременно вопросы формирования Белого моря и его развития в четвертичное время решались на побережье. В 1927–1929 гг. была организована Онего-Двинская экспедиция АН СССР под руководством М.А. Лавровой. Она установила наличие моренных краевых образований по берегам Онежского и Двинского заливов. Материалы этой экспедиции (Лаврова, 1931), а также исследования практически на всех берегах южного и западного Беломорья, позволили М.А. Лавровой подготовить первую схему формирования

Белого моря и сопоставить этапы его развития с Балтийским морем (рис. 2). Были подробно рассмотрены этапы дегляциации региона и представлена реконструкция послеледниковых трансгрессий и регрессий (Лаврова, 1947). С этого времени в обиход исследователей вошли такие термины как трансгрессии Поргляндия, Фолас, Тапес, Тривия и Острей и регрессии Литорина, Фолас и Тапес. Также было доказано наличие на высотах более 100 м морских отложений, часть из которых была позднее признана межледниковыми.

Огромный вклад в изучение стратиграфии верхнечетвертичных отложений и истории развития Белого моря по материалам морских геологических исследований был внесен сотрудниками Беломорской экспедиции ИО АН СССР в 1964–1968 гг. Объектами исследования были берега (Ионин и др., 1961) и донные отложения, изученные с помощью вибротрубок и последующих литологических и биостратиграфических анализов. В составленной по результатам этих исследований стратиграфической схеме были выделены ледниковые, ледниково-озерные, ледниково-морские и морские отложения, а также переходные типы отложений (Невесский, Медведев, 1973; Невесский и др., 1976).

Основными результатами работ этой экспедиции, которые наряду с огромным количеством статей были изложены в монографиях Е.Н. Невесского с соавторами (1976) и Е.С. Малясовой (1976), являлись: составление схемы развития Белого моря, схемы литостратиграфического расчленения четвертичных отложений и полной вещественной характеристики выделенных стратонив. Стратиграфическая схема была основана на данных палинологических (Малясова, 1976), диатомовых (Джиноридзе, 1974; Джиноридзе и др., 1979) и микрофаунистических (Кириенко, 1977) анализов. Были получены первые радиоуглеродные датировки (Каплин и др., 1971; Невесский и др., 1976). Отметим, что экспедиция Е.Н. Невесского до сих пор остается единственной, в которой были отобраны ледниковые отложения (базальная морена) во всех районах Белого моря. Составленная по данным датированных колонок схема поздне- и послеледникового развития Белого моря включала следующие этапы (Невесский и др., 1976):

– I ледниково-озерный (аллеред), когда в беломорской депрессии существовало, вероятно, несколько пресноводно-озерных водоемов, возникших при таянии ледника;

– II ледниково-морской (поздний дриас), когда в котловине моря существовал обширный бассейн, покрытый панцирем плавучих многолетних льдов, под которыми формировались однородные илы;

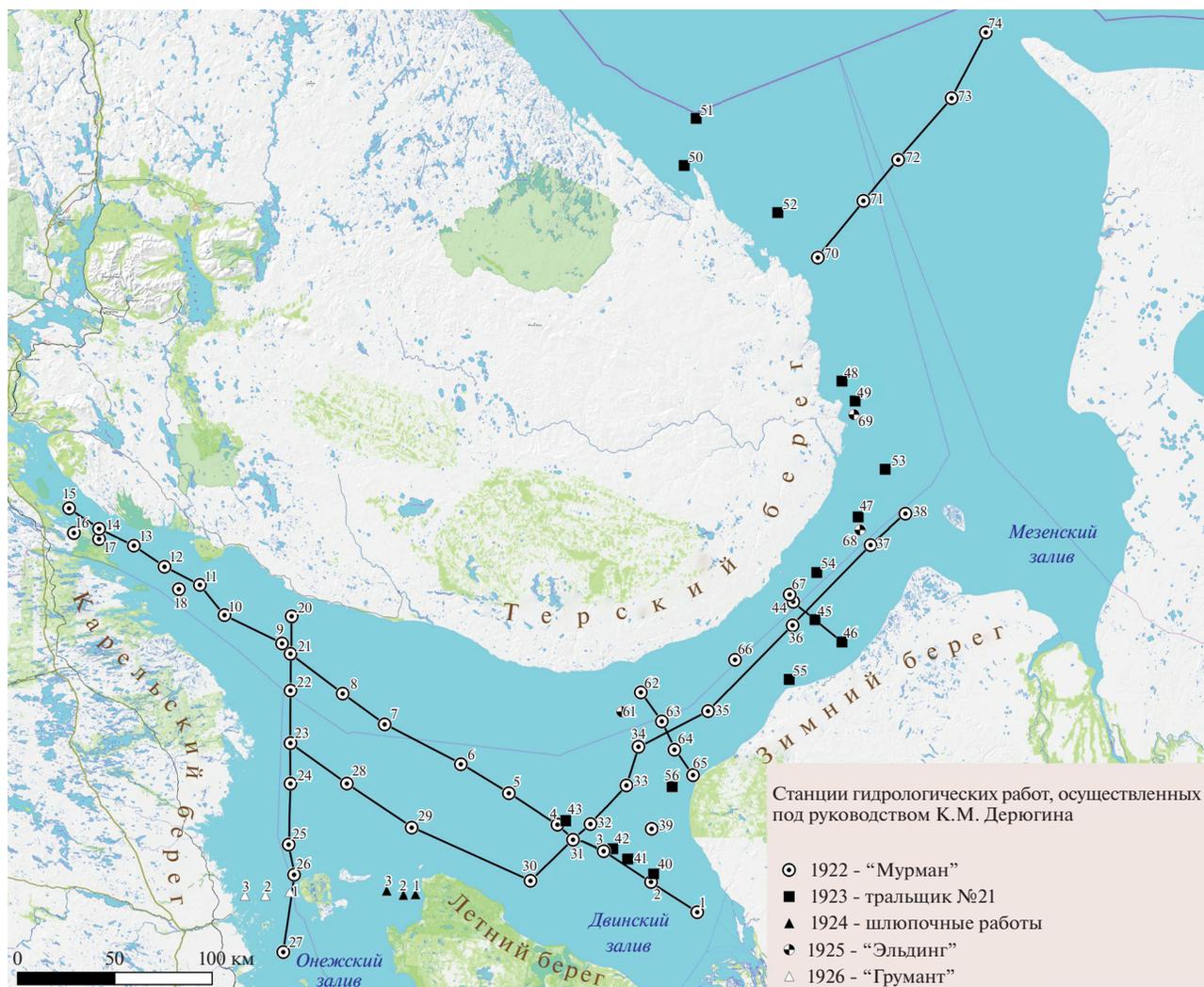


Рис. 1. Карта гидрологических станций в Белом море (в состав работ входило геологическое опробование), выполненных под руководством К.М. Дерюгина (Дерюгин, 1928).

– III переходный (пребореал и бореал), в течение которого ледниково-морские обстановки осадконакопления сменились морскими;

– IV морской (атлантик, суббореал и субатлантик), характеризовавшийся развитием типичного для подобных условий осадконакопления.

Кроме того, была предложена теория подледного осадконакопления, заключающаяся в том, что глыба ледника, занимавшего глубоководную котловину и являвшаяся реликтом ледника, всплыла в послеледниковое время, в результате чего ледниковые отложения перекрываются толщей однородных немых серых илов, накапливающихся в отдельных районах вплоть до начала бореального времени (рис. 3).

Исследования второй половины XX в. Следующий этап изучения истории Белого моря связан с организацией и развитием геологической съемки среднего масштаба (ГСШ-200), которую прово-

дили ВСЕГЕИ и Новодвинская экспедиция Архангельскгеологии в 1970–90-х годах. В опытно-методическом и опытно-производственном режиме были выполнены морские геолого-съемочные работы на девяти листах. Работы включали в себя сейсмоакустическое профилирование, впервые проведенное в 1972 г. в Кандалакшском заливе, геологический пробоотбор, электроразведочные работы, поисковые работы на россыпи и строительные материалы. Они охватили Кандалакшский и Онежский заливы, южное побережье Кольского полуострова, вплоть до Горла Белого моря. Основными результатами работ этого периода было создание новой литостратиграфической схемы четвертичных отложений, которая актуальна и в наше время. В состав картографического комплекта каждого листа входили: схематическая карта дочетвертичных пород, карта четвертичных отложений и литологическая карта поверхности морского

Абсолютн. хрон. от наст. врем.	Эпоха	История Балтики		История Кольского полуострова			Климатические периоды
				Отступление края льда, растительность	Морские трансгрессии	Доисторическая культура	
1000	Последледниковая	Время <i>Муа</i>	Начало нашей эры	Сосново-елово-березовые леса	Остриа I	Неолитические стоянки "арктического каменного века"	Субатлантический
2000							
3000		Время <i>Муа</i>		Сосново-березовые леса	Остриа II	Неолитические стоянки на Рыбачьем полуострове	Суббореальный
4000							
5000		Литориновое море	II Литориновая трансгрессия	Начало торфообразования и развитие диатомитов	Тривия		Климатический оптимум Атлантический
6000			I Литориновая трансгрессия				
7000			Море <i>Clupeus</i>	Березовые леса с примесью сосны	Талес II		Переходный
8000				Окончание горного оледенения	Талес I		
9000		Анциловое озеро	Максимум анциловой трансгрессии	Отступление льда в горных массивах	Фолас	Культура "арктического палеолита" на Рыбачьем полуострове	Бореальный
10000		II Иольдиевое море		Развитие тундры	Регрессия Литорина		
11000	II Балтийское ледн. озеро	Сальпауссельья	Кейвы	Портландия		Начало улучшения климата	
12000	II Иольдиевое море						
13000	I Балтийское ледниковое озеро	Освобождение Финского залива	Освобождение горла Белого моря	Готигляциальная трансгрессия		Субарктический	
14000			Освобождение Кольского залива				
15000	Ледниковая	Аллеред				Арктический	
16000							
17000							

Рис. 2. Схема сопоставления поздне-последледникового развития Кольского полуострова и Балтийского моря (по Лаврова, 1947)).

дна. Был выполнен большой объем биостратиграфических исследований, прежде всего палинологических (Е.А. Спиридонова, Н.А. Гей) и диатомовых анализов (Р.Н. Джиноридзе) (Алявдин и др., 1977; Гей и др., 1988; Джиноридзе и др., 1979; Мануйлов и др., 1977, 1981; Рыбалко и др., 1987). Это позволило провести региональные корреляции и, используя данные по более чем 1200 трубкам, построить подробные карты четвертичных отложений. Морские подразделения были расчленены по генетическим типам. Для целей геологического картирования было впервые применено непре-

рывное сейсмоакустическое профилирование (НСП), выполненное сотрудниками геологического факультета МГУ, которые стали родоначальниками этого вида работ в СССР (Калинин и др., 1983).

Была сформирована новая схема развития Белого моря, принципиально отличающаяся от схемы Е.Н. Невесского. Главное отличие было основано на материалах донного пробоотбора, в результате которого было установлено, что ледниковые отложения перекрываются слоистыми ленточно-подобными осадками ледниково-озерного и ледниково-морского генезиса. Их формирование не могло происходить под глыбой всплывшего ледника, а было возможным только в условиях открытого (хоть и ледовитого) моря у края ледникового щита (Алявдин и др., 1977). Изменилась и концепция самого развития беломорского бассейна. Были выделены следующие этапы: возникновение приледникового озера, проникновение в позднем неоплейстоцене морских вод через Горло Белого моря, постепенное становление ледниково-морского водоема, который, после отступления края ледника в сторону Скандинавии, сменился морским (Рыбалко, 1998). Были получены новые сведения о распространении ледни-

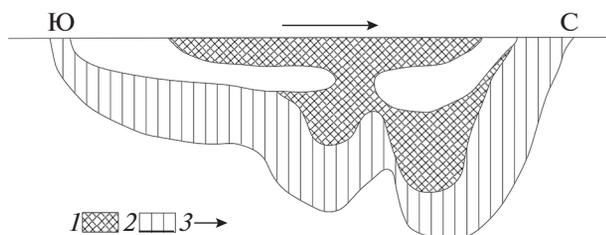


Рис. 3. Модель подледного осадконакопления в центральной части Белого моря (Невесский и др., 1976). 1 – ледяные массивы, 2 – коренные породы, 3 – направление стаивания плавающих ледяных полей.

ковых краевых образований на дне Белого моря, что позволило составить схему дегляциации котловины. Предполагалось, что последний ледник занимал впадину Белого моря в среднедриасовое похолодание (от 12.2–12.3 до 11.8–12.0 тыс. ^{14}C л. н.). Более поздняя фаза наступания ледника, называемая Невской, привела к образованию двух осцилляторных гряд, протягивающихся от устья р. Оленицы и упирающихся в Зимний берег. Мощность ледниковых отложений, слагающих эти гряды, по сейсмоакустическим данным достигает 60–80 м. Внутри гряд отмечаются протяженные отражающие горизонты, которые могут разделять разновозрастные морены (Семенова и др., 2011; Рыбалко и др., 2017). Южная граница ледника поздней подстадии Невской стадии (Лямецкий краевой комплекс) проходила в южной части Онежского залива, а также вдоль восточного берега Двинского залива. Условно к этому возрасту относится и сложно построенный комплекс ледниковых гряд в районе о. Жижгин, причем разрушение ледника здесь происходило стремительно, сопровождалось интенсивным заполнением межморенных впадин, где мощность осадков поздне-последнеледникового возраста превышает 35 м (Рыбалко и др., 2017).

Разработанная стратиграфическая схема, опирающаяся в основном на биостратиграфические данные (Алявдин и др., 1977; Рыбалко, 1998; Гей и др., 1988), была сопоставлена с данными по литостратиграфии Финского залива и Ладожского озера, что позволило поставить вопрос о близком к синхронному развитии морских и озерных бассейнов по восточной периферии Балтийского кристаллического щита (Рыбалко, 1998).

Принципиальным отличием работ ВСЕГЕИ являлось площадное покрытие значительной части дна акватории картами четвертичных отложений и совместное с МГУ использование сейсмоакустического профилирования. Основные результаты сейсмоакустических работ в Белом море были изложены в диссертации Н.А. Девдариани (1985), а также в ряде обобщающих статей (Журавлев и др., 2008; Рыбалко и др., 2009а, 2009б, 2011, 2017).

В конце XX в. Новодвинская партия Архангельского геологического управления приступила к геологическому картированию дна Двинского залива и Горла Белого моря. По данным пятилетних исследований было охарактеризовано строение четвертичных отложений в Горле Белого моря (Соболев, 2008; Соболев и др., 1995). Впервые в результате бурения были выявлены подстилающие валдайскую морену микулинские отложения, представленные песками. Термолюминесцентный анализ этих песков показал возраст от 111 до 161 тыс. лет (Соболев и др., 1995). Эта толща

очень четко была прослежена и по данным сейсмопрофилирования (рис. 4).

Было установлено, что основную часть четвертичного разреза в указанном районе Белого моря слагает мощная (до 24 м) и однородная толща алевроитово-тонкопесчаных осадков, которая залегает непосредственно на морене. Время формирования ее по данным палинологического анализа охватывает аллеред – начало бореала, что связано с существованием здесь в это время бассейна, где ледниково-морские условия осадконакопления постепенно сменялись морскими. О начале проникновения морских вод в аллереде свидетельствуют серые гидроморфные тона окраски, а также наличие черных прослоек гидротроилита (Глушанкова и др., 2020).

Логическим завершением этих работ явилось издание в составе комплекта Госгеолкарты 1000 (лист Апатиты) первой карты четвертичных отложений Белого моря (без Воронки) (Государственная ..., 2001). На ней были показаны обширные площади затопленных континентальных (в том числе, ледниковых и ледниково-морских) отложений, приложена первая геоморфологическая схема масштаба 1 : 2 500 000, а также подготовлена схема распространения ледниковых потоков и дегляциации.

По данным работ этого периода история развития Белого моря в позднем неоплейстоцене–голоцене представлялась следующим образом. Первые приледниковые бассейны зародились в южной части Белого моря – в Онежском заливе около 14 тыс. ^{14}C л. н. (Рыбалко и др., 1987, 2017). Вероятно, в это время сформировались и первые приледниковые бассейны в Кандалакшском заливе, в его открытой части, так как в колонках по данным спорово-пыльцевого анализа отчетливо выделялись нижнедриасовые отложения (Алявдин и др., 1977). В аллереде приледниковый бассейн существовал, вероятно, уже во всей беломорской котловине. В нем накапливались слоистые серые и буровато-серые ленточноподобные осадки с характерной градиационной слоистостью. Прорыв морских (баренцевоморских) вод во впадину Белого моря произошел в аллереде, и уже в позднем дриасе морские воды начали проникать в Двинский залив и во внешнюю часть Онежского залива. В глубоководную часть Кандалакшского залива морские воды проникли только в конце пребореала (Алявдин и др., 1977), а в раннем голоцене во впадине Белого моря существовал солоноватоводный ледниково-морской бассейн, который постепенно (по мере полной деградации ледникового щита на Кольском полуострове) сменялся нормальным морским. Этот период знаменовался накоплением коричневатобурых тонкозернистых осадков с аутигенными сульфидными минералами, которые четко

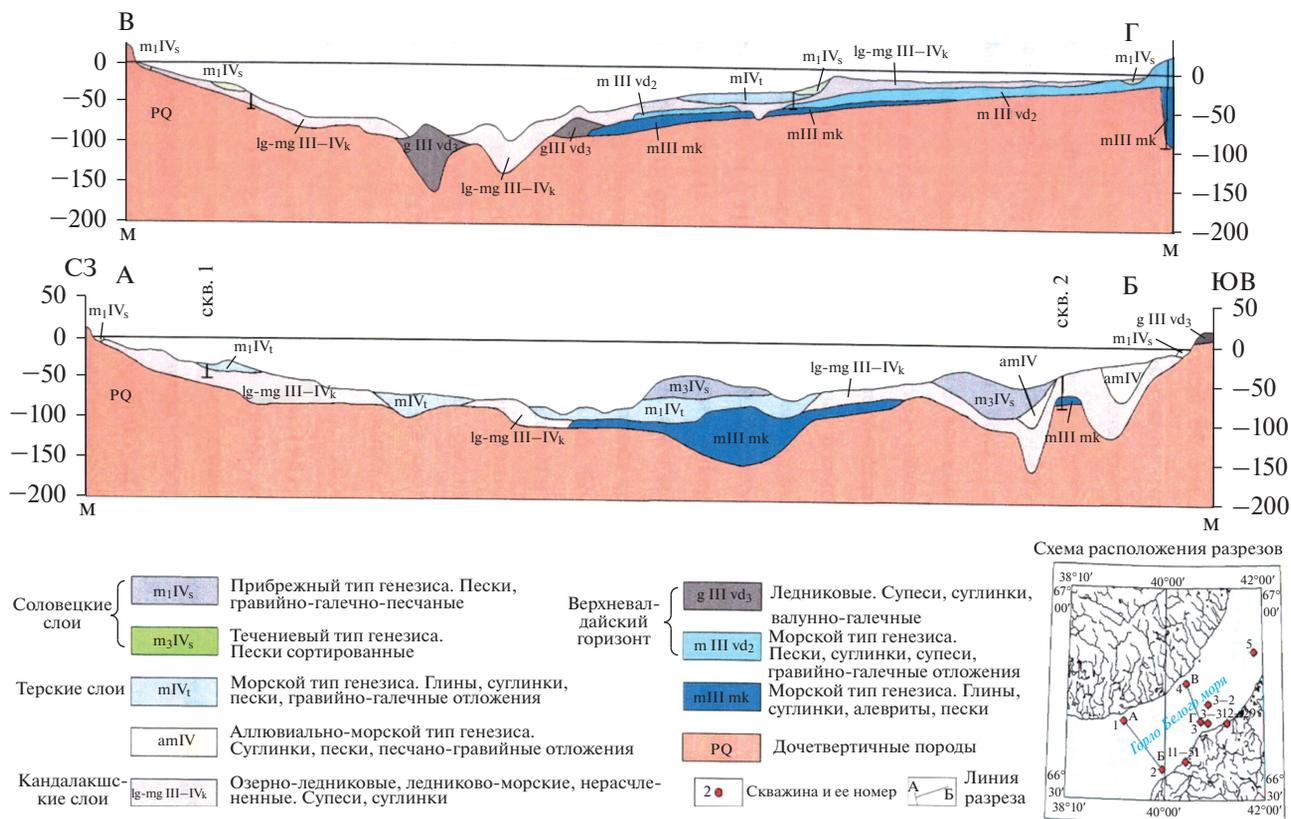


Рис. 4. Выделение микулинских отложений по данным сеймопрофилирования и бурения в Горле Белого моря (Соболев и др., 1995).

отличались от нижележащих слоистых осадков скачкообразным увеличением содержания биогенных элементов и соединений ($C_{орг}$, $CaCO_3$, $SiO_2_{аут}$). Характерной чертой этих осадков являлся скользкий возраст как нижнего, так и верхнего контактов, отражающий несинхронную в масштабах беломорской котловины смену ледниково-морского режима седиментации морским (Спиридонов и др., 1980; Государственная ..., 2001; Рыбалко и др., 2009б).

Начиная с конца бореального времени во всем Белом море, которое уже приобрело близкие к современному контуры, существовал нормальный морской режим, хотя соленость из-за речного стока была ниже 35‰ (за исключением Воронки). Особенности этого периода являлись: наличие теплового оазиса в северной части Онежского залива между о-вами Большой Соловецкий и Анзерский, где в конце пребореала и в атлантическое время температура воды была в среднем на 2–3°C выше современной; транзитный тип осадконакопления в западной части Онежского залива, наличие специфического транзитного песчаного седиментогенеза в Горле Белого моря (Рыбалко, 1998; Рыбалко и др., 1987; Дорофеева и др., 1991). Последнее требует специального пояснения, так как именно на Белом море, было прове-

дено изучение и дана классификация осадков, формирующихся в условиях активного приливотливного режима с выделением таких динамичных форм мезорельефа, как песчаные ленты, волны, гряды, описана их морфология и установлены коррелятивные связи между скоростями придонных течений и размером указываемых форм (Чахотин и др., 1972; Рыбалко, 1998).

Исследования XXI в. включали морские геологические исследования четвертичных отложений в рамках программы “Мировой океан” на Белом море под руководством акад. А.П. Лисицына и проведение регионального профиля АР-3 в пределах беломорского Бассейна. Эти работы завершились площадными геофизическими съемками дна Белого моря и составлением листов Q-35-38 Государственной геологической карты масштаба 1 : 1000000, охватывающих дно всего Белого моря. Все эти работы, кроме собственно морских исследований, включали и работы на берегах, и изучение устьев крупнейших рек, и др. Основное внимание было уделено изучению процесса современного седиментогенеза с использованием седиментационных ловушек и комплекса самых современных методов (Лисицын и др., 2010). Результаты отражены в четырехтомном издании монографии “Система Белого моря” в 2010–2017 гг.

В рамках этой программы проводилось и биостратиграфическое изучение донных отложений с использованием радиоуглеродных датировок. Результаты исследований Е.И. Поляковой и Е.А. Агафоновой (диатомовый анализ) и Е.А. Новичковой (изучение палиноформ) (Агафонова и др., 2019; Новичкова, Полякова, 2009; Новичкова и др., 2017; Полякова и др., 2014) позволили подробно охарактеризовать историю развития Беломорского бассейна с позднего дриаса, т.е. с момента начала превращения приледникового бассейна в ледниково-морской и далее в морской. Установлено, что в конце неоплейстоцена (13.0–11.5 кал. тыс. л. н. – поздний дриас) в северной части Онежского залива существовал холодно-водный солоноватоводный водоем с низким уровнем первичной продукции и притоком пресных вод ледникового происхождения. В раннем голоцене (11.5–10.0 тыс. кал. л. н. – пребореал) начались перестройки гидродинамического режима, когда резко возросла циркуляция вод и началась смена ледниково-морских обстановок на морские. Окончательный процесс дегляциации беломорского бассейна завершился, вероятно, около 10.0 тыс. кал. л. н., хотя в работах ВСЕГЕИ считалось, что ледники окончательно ушли еще в позднем дриасе (Рыбалко и др., 2017).

В бореальное время (10.0–9.0 тыс. кал. л. н.) произошло резкое увеличение притока баренцевоморских вод. Во второй половине бореала в Белом море существенно сократилась продолжительность ледового покрова. На его берегах в это время существовали лесотундровые и лесные биоценозы, т.е. климат был существенно суровее современного. Атлантический период голоцена (9.0–5.8 тыс. кал. л. н.) ознаменовался максимальным присутствием во всех районах, кроме вершины Кандалакшского залива и Горла Белого моря, относительно тепловодных видов палиноформ. Максимальная температура воздуха была установлена около 5.5 тыс. ¹⁴С л. н., когда на берегах Белого моря доминировали таежные лесные биоценозы.

В начале суббореального периода (5.8–2.6 тыс. кал. л. н.) началось понижение температуры поверхностных вод Белого моря, сопровождавшееся увеличением продолжительности ледового покрова и снижением притока баренцевоморских вод. В течение последних 2.6 тыс. кал. л. в субатлантическое время состав ассоциаций водных палиноморф и комплексы диатомовых становятся близкими к современным (Новичкова, Полякова, 2009).

В 2003–2004 и 2005–2007 гг. МАГЭ провело сейсмоакустические работы в Белом море (Шлыкова, 2007; Шлыкова, Тарасов, 2006). По их результатам была составлена карта мощностей рыхлых отложений, существенно уточнены контуры

грядобразных ледниковых форм рельефа, выявлены разновозрастные ледниковые отложения, а также установлены зоны лавинной седиментации как к юго-западу от Горла Белого моря, так и внутри краевых образований к востоку от о. Анзерский. Впервые с использованием новой сейсмоакустической аппаратуры были изучены Горло и Воронка Белого моря. Была разработана сейсмостратиграфическая схема, охватывающая верхнюю часть дочетвертичных образований и весь четвертичный покров (рис. 5).

Было подтверждено наличие межледниковых (микулинских) отложений на сейсмических разрезах. К ним отнесена толща горизонтально-слоистых осадков, выделяемая ниже подошвы “верхней” морены и характеризующаяся хаотической картиной распределения отражающих площадок. Эти отложения выполняют глубокие эрозионные врезы, однако по данным интерпретации сейсмоакустических данных было показано, что эти осадки распространены гораздо шире и часто выходят за пределы указанных врезов. На юго-западном склоне Кандалакшского грабена были установлены гравитационные отложения мощностью более 100 м (гигантские оползни), связанные с тектоническими линеаментами. Часто прослеживалось несколько генераций оползневых тел, формирование которых происходило, вероятно, на протяжении всего неоплейстоцена и голоцена. Это подтвердили данные ВСЕГЕИ, по которым признаки гравитационных потоков были установлены в виде тонких прослоев песков с градиционной слоистостью, которые неоднократно фиксировались и в илах предсклоновой части Кандалакшской впадины (Алявдин и др., 1977). Эти данные, многочисленные сейсмодислокации, выявленные на Карельском и Кандалакшском берегах залива, и эрозионно-тектонические формы рельефа дна отчетливо указывали на современную тектоническую активность в пределах Кандалакшского грабена. Были установлены крупные ледниковые гряды в Мезенском заливе от мыса Воронов до о. Моржовец, был выявлен своеобразный плотинный эффект моренных гряд для осадков, транспортируемых со стороны Кольского полуострова в сторону глубоководной впадины (Рыбалко и др., 2009б). Экранирующий эффект ледниковых гряд является, вероятно, одной из причин того, что в центральной части глубоководной котловины Белого моря мощность голоценовых осадков относительно невелика, а значительные площади на глубинах 200–230 м вообще лишены этих отложений. При этом в северо-западной части Кандалакшского грабена, западнее мыса Турий, где боковые морены отсутствуют, на дне происходит интенсивное накопление алевропелитовых нефеллоидов голоценового возраста, мощность которых превышает 10 м (Журавлев и др., 2008).

Группа	Система	Свита	Слой звено	Выделенные (Елисеев и др., 1989) СК	Предлагаемые СК	
Кайнозойская	Четвертичная		современное	I ₀	I ₀₁ I ₁₁	
					I ₀	
			верхнее	I ₁	II	I ₁
						III
			среднее	III	III–IV	
нижнее						
Неогеновая						
Палеозойская	Девон–пермь (?)				IV (Воронка Белого моря)	
Позднепротерозойская	Поздневендская	Мезенская		III ₂	V	
		Усть-пинезская	зимнегорские	IV ₁₀	VI	
			вайзицкие			
			сюзьминские	IV ₁₀		
			верховские	IV ₁₂		
			архангельские			
			лямицкие	IV ₂		
	тамицкие					
Рифейская			VII ₁ , VII ₂			
			IV–V	VII ₃		
			V ₀	VII ₄		
			V ₁			
Раннепротерозойская				VI	VIII	
Архейская						

Рис. 5. Сводная сейсмостратиграфическая схема верхней части осадочного чехла бассейна Белого моря (Шлыкова, 2007).

В эти же годы ВСЕГЕИ проводил тематические работы на Кольском полуострове и в южной части полуострова Канин в рамках подготовки листов ГГК-1000 (Семенова и др., 2011). Совмещение результатов морских исследований и наземных геолого-съёмочных работ позволило в 2010–2012 гг. подготовить карты четвертичных отложений и геоморфологические, которые вошли в картографический комплект ГГК-1000 (4 листа Q-35-38) (Астафьев и др., 2012а, 2012б; Журавлев и др., 2012). На этих картах и в подготовленных по их результатам обобщающих рабо-

тах (Система ..., 2017; Rybalko et al., 2018) показаны пути движения ледников, в том числе и со стороны Чешской губы Баренцева моря, предложена схема дегляциации Белого моря, приведена совместная стратиграфия четвертичных отложений в Белом море и на его берегах.

В конце 1990-х годов на базе Беломорской биологической станции (ББС) МГУ в Кандалакшском заливе Белого моря был центр по развитию методики сейсмоакустических исследований и связанных с ними геологических и гидробиологических исследований. За годы многочисленных

практик, а также специальных научных исследований здесь накоплена уникальная по плотности сеть сейсмоакустических профилей (Старовойтов и др., 2022).

Кроме сейсмоакустических работ также использовались методы гидролокации бокового обзора (ГЛБО) и многолучевого эхолотирования (МЛЭ). В результате интерпретации полученных результатов, которые были совмещены с подводными телевизионными наблюдениями, погружениями аквалангистов и легкого геологического пробоотбора были получены уникальные по детальности карты подводных ландшафтов (Terekhina et al., 2020). Хотя прямых данных о развитии этой части акватории по биостратиграфическим данным из-за ограниченности пробоотбора здесь до сих пор получено немного (Сорокин и др., 2009), сейсмоакустические исследования позволили получить новые данные о ледниковом периоде и об освобождении этой части Белого моря от ледника. Так, ориентировка выделенных на мелководных участках пролива малоамплитудных ледниковых гряд протяженностью до 2 км, которые своей выпуклой стороной ориентированы на запад, позволило прийти к парадоксальному выводу, что в проливе Великая Салма ледник в процессе таяния отступал приблизительно на восток, в сторону современной глубоководной Беломорской впадины. Большой материал был получен и по гравитационным процессам в проливе. В частности, было показано, что начало гравитационных процессов в описываемом районе, а вероятно и по всей южной окраине Беломорской впадины, следует предположительно связывать с начальным периодом гляциоизостатического поднятия берегов (Старовойтов, 2022).

ИССЛЕДОВАНИЯ НА БЕЛОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ

Наряду с развитием морских геологических работ в Белом море продолжались исследования и на его берегах. Работы Геологического института Кольского филиала АН СССР (ныне Геологического института ФИЦ КНЦ РАН) на побережье Белого моря были направлены, главным образом, на реконструкцию истории развития оледенений и дегляциации беломорской депрессии, а также на исследование палеогеографии позднего неоплейстоцена и тектонического и гляциоизостатического перемещения поверхности, опирающиеся на изучение береговых форм рельефа, ледниковых и водно-ледниковых ландшафтов на побережье, стратиграфии (лиито-, био-, магнитостратиграфии) и геохронологии (радиуглеродного и ОСЛ-датирования, варвохронологии) ледниковых и межледниковых отложений на побережье, а также отложений озерных котловин. В 1960-70-е годы прошлого века эти исследования

были связаны главным образом с именами М.А. Лавровой (1960), Б.И. Кошечкина (1975) и В.Я. Евзерова (Гудина, Евзеров, 1973). Основные результаты исследований этого периода изложены в монографии С.А. Стрелкова с соавторами (1976).

Еще одним важным направлением работы наземных геологов являлось выявление истории развития морских бассейнов в депрессии Белого моря на основе изучения стратиграфии и хронологии межледниковых и ледниковых отложений в разрезах на побережье в долинах рек и береговых уступов. Этому вопросу были посвящены работы В.И. Гудиной и В.Я. Евзерова (1973), В.Я. Евзерова (1971, 2007) с соавторами (1981, 2007), О.П. Корсаковой (2009) с соавторами (2004, 2011).

Основными выводами, имеющими для нас интерес в связи с развитием Беломорского бассейна, являются: возникновение первых приледниковых бассейнов в среднем дриасе, преобладающее поднятие берегов над поднятием уровня моря, т.е. регрессивный тип развития береговой зоны. Особое значение имеет составленная Б.И. Кошечкиным кривая колебания относительного уровня моря, в частности вывод о том, что уровень Кандалакшского залива в пребореале-бореале понижался до современных глубин 60 м (Кошечкин, 1975). Это хорошо сочетается с нашими данными, о том, что уровень поверхности ненакопления голоценовых осадков и широкого развития подводного перлювия в Кандалакшском заливе также составляет 50–70 м (Джиноридзе и др., 1979; Рыбалко, 1998). Большое внимание уделялось моренным краевым образованиям и возможной корреляции их с выделенными по данным сейсмоакустического профилирования аналогичными грядами на шельфе. Такая корреляция была проведена В.Я. Евзеровым и С.Б. Николаевой (2000) (рис. 6). Они сопоставили краевые гряды вдоль северного берега Кольского полуострова с поясом II краевых образований, формирование которого скоррелировано с двумя похолоданиями около 12.5 и 11.7 тыс. кал. л. н. Во время первого из них возникла внешняя полоса гряд пояса II, а во время второго – напорная моренная гряда, расположенная вблизи юго-восточного берега Белого моря южнее гряд указанной полосы. Кроме того, было установлено, что баренцевоморские воды начали поступать в Белое море уже в аллереде (Колька и др., 2005, 2013а).

В Восточном Беломорье аналогичные исследования проводили Э.С. Плешивцева, О.Ф. Барановская и геологи-съемщики (Э.А. Кальберг, И.А. Вартанова, Г.М. Черемшина, В.Н. Копылова, Т.Н. Зоренко и др.). Особенность этих работ – хорошая обеспеченность данными буровых скважин и комплексное использование микропале-

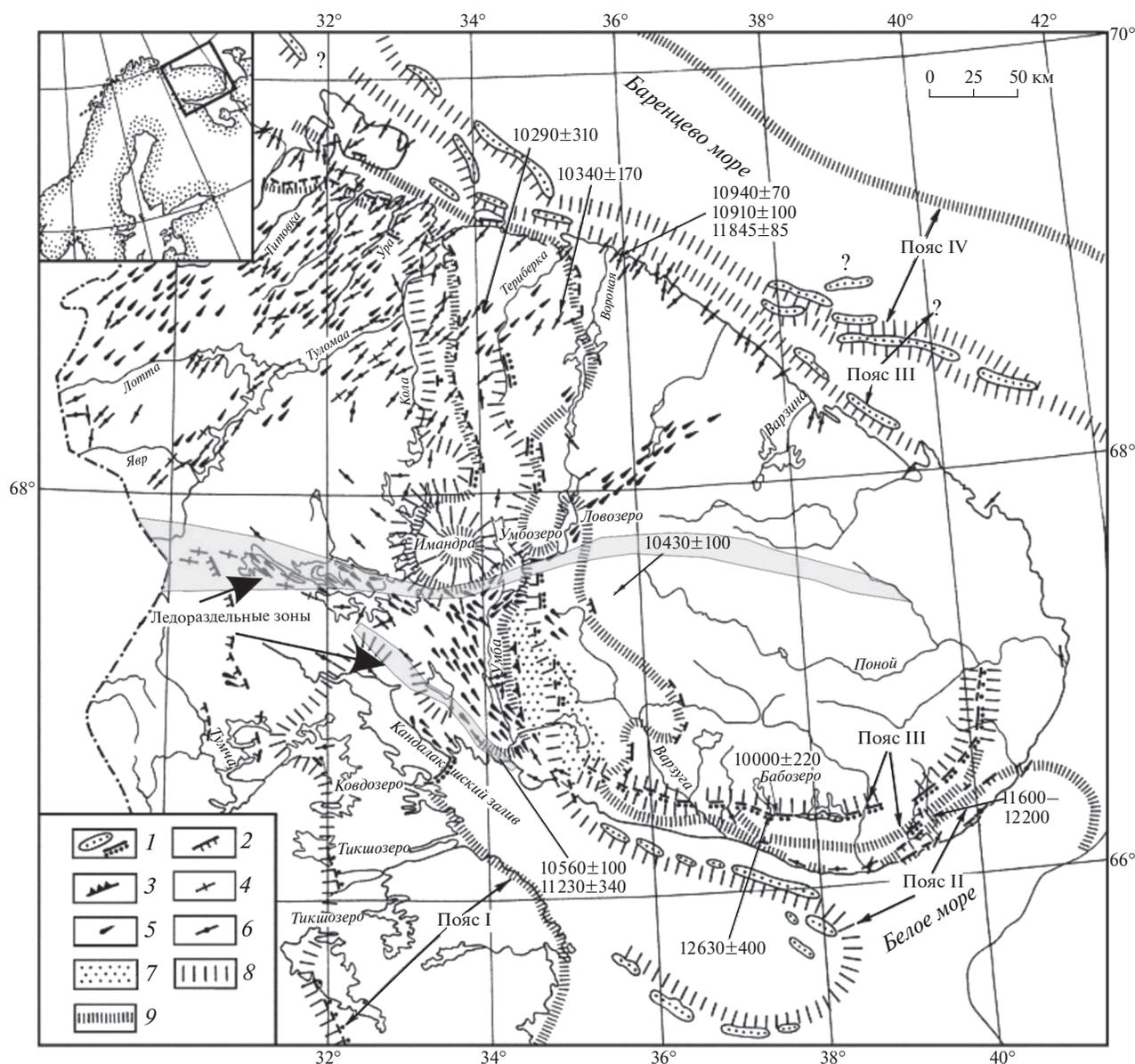


Рис. 6. Схема дегляциации Беломорской депрессии и Кольского региона (Евзеров, Николаева, 2000).

1 – гряда краевая и межлопастная напорно-насыпной морены; 2 – гряда напорной морены; 3 – маргинальный уступ; 4 – флюта; 5 – друмлины; 6 – ледниковый шрам; 7 – островная возвышенность; 8 – положение края ледника (или отдельной лопасти) при формировании насыпных конечно-моренных гряд внутренней полосы маргинального пояса в период межстадиального потепления; 9 – то же при образовании напорных конечно-моренных гряд внешней полосы маргинального пояса в период стадийного похолодания. Серым фоном показаны ледораздельные зоны.

онтологических методов исследований. В XXI в. тем же вопросам были посвящены работы по проекту QUEEN.

Наибольшее значение приобрели работы Геологического института КНЦ РАН в связи с проблемой оценки гляциоизостатического поднятия земной коры и перемещения береговой линии моря на основе изучения литологии, палеонтологии (диатомовый и спорово-пыльцевой анализы), геохронологии (радиоуглеродное датирование) донных отложений в малых озерных котло-

винах, расположенных в береговой зоне. Эти работы были начаты В.В. Колькой, и до конца своих дней он оставался их лидером даже на фоне взрывного развития аналогичных работ исследователями из других организаций (Романенко, Шилова, 2012; Субетто и др., 2012; и др.). Основные результаты представлены в его работах в соавторстве с коллегами из ГИ КНЦ РАН и ИГ КарНЦ РАН (Колька и др., 2005, 2013а, б, 2014, 2015а, б, 2018а, в, 2019; и мн. др.). Работы проводились как на берегах Кандалякшского залива, так и на

Онежском и Поморском берегах Белого моря. Посредством биостратиграфических исследований и с помощью радиоуглеродного датирования в кернах донных отложений из малых озер определялись пространственное положение и возраст переходных зон от континентальных осадков к морским (трансгрессивный разрез) и от морских к континентальным (регрессивный разрез). В целом, в разрезах эти переходы маркируются набором фаций I (пресноводные осадки приледникового озера)—II (осадки переходной зоны от пресноводных к морским)—III (морские осадки) и III (морские осадки)—IV (осадки переходной зоны от морских к пресноводным, меромиктического водоема)—V (пресноводные осадки). На основе полученных данных о возрасте осадков переходных зон и высоте порогов стока из озерных котловин строились графики изменения положения береговой линии моря во времени (Колька и др., 2005, 2013а, б, 2014, 2015а, б, 2018в). В результате, была получена пространственная картина поднятий берегов и охарактеризованы темпы регрессии береговой линии моря. В перемещении береговой линии Белого моря выделено пять этапов: 1) развитие приледникового бассейна и его осолонение в ходе эвстатической позднеледниковой трансгрессии; 2) резкая регрессия береговой линии моря со скоростью 3.5–10.0 см/год (в зависимости от района побережья) в раннем голоцене; 3) малоамплитудная регрессия или длительная стабилизация береговой линии моря в первой половине среднего голоцена; 4) регрессия береговой линии моря со скоростью 1.0–2.1 см/год или локально резкая, связанная с активизацией восходящих тектонических движений, во второй половине среднего голоцена; 5) слабоактивная регрессия береговой линии моря со скоростью менее 0.5 см/год в позднем голоцене (Колька, Корсакова, 2017). Подобные работы проводились и другими исследователями, что позволило уточнить палеогеографические особенности отдельных районов Белого моря, например, Соловецкого архипелага (Лудикова, Субетто, 2015; Субетто и др., 2012; Ludikova et al., 2021; и др.), Карельского, Кандалакшского и Терского берегов (Агафонова и др., 2019; Репкина, Романенко, 2016; Романенко, Шилова, 2012).

Обобщение результатов исследования послеледниковой динамики относительного уровня моря (береговой линии), известных в регионе к 2008 г., выполнено А.В. Баранской с коллегами (2019).

С 2009 г. группой исследователей географического факультета МГУ, РГПУ им. А.И. Герцена, ИГ РАН и ГИН РАН проводятся комплексные исследования рельефа и послеледниковых отложений Онежского полуострова (Репкина и др., 2019б, 2020а, б, 2021; Kublitskiy et al., 2020), а с 2014 г. — Зимнего берега Белого моря (Репкина

и др., 2018, 2019а, 2020а; Шилова и др., 2019; Zaretskaya et al., 2021). Работы включали получение детальной информации о топографии побережья (DGPS и БПЛА съемки, эхолотные промеры на озерах и прибрежном мелководье), георадиолокационное профилирование поднятых террас, геоморфологические и палеолимнологические исследования, литолого-стратиграфический, диатомовый и геохимический анализы и радиоуглеродное датирование отложений. Основные направления работ — реконструкция изменения относительного уровня моря и морфолитодинамических процессов в береговой зоне в позднеледниковье — голоцене. Было установлено, что динамика уровня Белого моря на его юго-восточном побережье отличалась от таковой на берегах Кандалакшского залива (Колька и др., 2005, 2013а, б, 2014, 2015а, б, 2018а, в, 2019) по величине и хронологии трансгрессий и регрессий и существенно изменялась вдоль береговой линии.

На Онежском полуострове осадки ледовитого и опресненного бассейна позднеледниковой трансгрессии выявлены на высотах 17.5–30.0 м над ур. м. на северо-западе (Репкина и др., 2020б) и до 11–12 м над ур. м. в районе Унско-Ухтинского палеопротолива (Репкина и др., 2019б, 2020а, 2021; Kublitskiy et al., 2020). Не позднее 9.5–8.4 тыс. кал. л. н. трансгрессия сменилась регрессией, сопровождавшейся накоплением озерно-болотных отложений. Вскоре (~8.2 тыс. кал. л. н.) началась трансгрессия среднего голоцена Тапес, береговые линии которой установлены на высотах 14–18.5 м над ур. м. на северо-западе (Репкина и др., 2020б) и около 9–10 м над ур. м. в центре полуострова (Репкина и др., 2019б, 2020а, 2021; Kublitskiy et al., 2020). Уровень моря с высокой волновой активностью стабилизировался или незначительно (± 1.5 –2 м) колебался на этих отметках несколько тысячелетий — до ~5.8–3.9 кал. тыс. л. н., что способствовало накоплению сложно устроенной толщи морских, лагунных и прибрежных эоловых отложений (Репкина и др., 2019а, 2020а, б; Kublitskiy et al., 2020). Пространственное распределение скоростей последующего падения уровня указывает на значимое влияние гляциоизостазии на побережье полуострова, ориентированного вкост фронта ледника (Astakhov et al., 2016). Были также рассчитаны уровни понижения моря на северо-западной оконечности Онежского полуострова, на о. Большой Соловецкий, в Унско-Ухтинской депрессии, а также в вершине Двинского залива (Репкина и др., 2019б, 2020а, 2021; Kublitskiy et al., 2020). Наименьшие значения были зафиксированы в дельте р. Северная Двина (Зарецкая, 2018; Репкина и др., 2018).

На Зимнем берегу было установлено, что возраст позднеледниковой трансгрессии, в результате которой баренцевоморские воды проникли в Бассейн Белого моря, старше 11.1 кал. тыс. л. н.,

причем сам бассейн был сильно опреснен, вероятно, из-за близости края ледника. Предполагается, что в раннем голоцене (~11.1–9.5 тыс. кал. л. н.) имела место регрессия моря, так как на отметках –20...–30 м ранее было реконструировано (Соболев и др., 1995; Соболев, 2008) положение его береговой линии. Современного своего положения береговая линия достигла не ранее ~9.5 тыс. кал. л. н. Небольшие (до +4–7 м) ее колебания имели место в среднем и позднем голоцене.

В результате тщательного изучения береговых террас были получены важные сведения о блоковых тектонических движениях, существенно усложняющих реконструкцию относительного уровня ледниково-морского и морского бассейна в различных районах Белого моря. С конца пребореала (~9100 кал. л. н.) до второй половины атлантика (~6000 кал. л. н.) по всему побережью происходила неравномерная регрессия, связанная с постепенным снятием ледниковой нагрузки и гляциоизостатическим поднятием Кольского полуострова. Возможно, именно с этой регрессией связано формирование перлювиальных осадков в Кандалакшском заливе на глубине 60–70 м, образованных при региональном размыве ледниково-морских отложений (Рыбалко и др., 2017). Важно, что эта регрессия сопровождалась кратковременной фиксацией положений береговой линии моря или даже незначительным ее подъемом (Колька, Корсакова, 2017).

В настоящее время большинство береговых исследователей ледниковой геологии Северо-Запада России считают, что фронт последнего ледника проходил через Горло Белого моря на траверзе мыса Инцы, и в районе д. Сосновка выходил на Терский берег (Семенова и др., 2011; Рыбалко и др., 2017). На побережье краевые образования с абсолютными отметками до 80–120 м над ур. м. и высотой до 50–60 м установлены на расстоянии 6–9 км от берега. В прибрежной полосе краевые морены высотой не более 15 м сглажены и перекрыты предположительно позднеледниковыми и голоценовыми морскими, эоловыми и болотными отложениями (Репкина и др., 2019а). Однако, все наблюдения с использованием сейсмоакустического профилирования, в том числе и выполненные МАГЭ в 2012 г., свидетельствуют о северо-восточной ориентировке всех структурных и геоморфологических объектов и об отсутствии выраженных морфоскульптурных объектов, направленных поперек рассматриваемого пролива. Образования, похожие на краевые гряды, начинают проявляться только в Воронке Белого моря, и они имеют отличную от северо-западной ориентировку (Журавлев и др., 2012; Балувев, Журавлев, 2017).

Работы, направленные на выявление дифференцированных тектонических движений и пале-

осейсмодислокаций на побережье Белого моря проводились при изучении рельефа, естественных обнажений, литологии и стратиграфии донных отложений из озер побережья. Результаты представлены в работах (Авенариус и др., 2004; Евзеров, Николаева, 2003; Евзеров и др., 2016; Николаева и др., 2016; Колька и др., 2018б). В работе И.Г. Авенариус (2004) впервые был поставлен вопрос о влиянии вертикальных тектонических движений позднего кайнозоя на формирование современной морфоструктуры Белого моря, в том числе его глубоководной впадины. Многочисленные работы Геологического института КНЦ РАН позволили В.В. Кольке сформулировать вывод, что современный облик побережья Кандалакшского залива, а также и самой глубоководной Кандалакшской впадины моря связан, во-первых, с гляциоизостатическим поднятием земной коры; во-вторых, с блоковыми перемещениями по разломам, которые связаны с эндогенной активностью Онежско-Кандалакшского рифта; в-третьих, с унаследованным от докембрия общим поднятием Фенноскандинавского кристаллического щита (Колька и др., 2018б). В последнее время данной проблемой активно занимаются С.В. Шварев и А.А. Никонов. Им удалось показать на основании анализа макросейсмических данных, что доказанные исторические сейсмические события в 1550, 1911 и 1967 гг. связаны с геодинамической активностью поперечных к основным структурам грабена дизъюнктивных структур. Они выделили в районе Беломорья период резкой сейсмической активизации в XVI–XVIII вв., когда за 250–300 лет возникло пять сейсмических событий с магнитудой 5.5–6.5, три из которых произошли в Кандалакшском заливе (Шварев, Никонов, 2018).

Таким образом, сопоставление различных взглядов и новых данных ведет к углублению дискуссий по основным вопросам эволюции Белого моря. К ним относятся вопросы наиболее раннего развития приледниковых бассейнов в современном Кандалакшском заливе, особенности дегляциации беломорской котловины и особенно наличие ледниковых образований в Горле Белого моря, а также увязка всех полученных данных по поднятию берегов в единую схему.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 22-17-00081.

FUNDING

This research was supported by the Russian Science Foundation, project no. 22-17-00081.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы хотят еще раз мысленно вспомнить и поблагодарить тех людей, которые отдали свое здоровье и свой ум для познания геологической истории этого интереснейшего и красивейшего Белого моря.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to mentally recall and thank those people who gave their health and their minds for the knowledge of the geological history of this most interesting and beautiful White Sea.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Авенариус И.Г.* Морфоструктура беломорского региона // Геоморфология. 2004. № 3. С. 48–56. <https://doi.org/10.15356/0435-4281-2004-3-48-56>
- Авилов И.К.* Мощность современных осадков и послеледниковая история Белого моря // Тр. Гос. океаногр. ин-та. 1956. Вып. 3. С. 45–47.
- Агафонова Е.А., Полякова Е.И., Новичкова Е.А.* Палеоокеанологические события поздне- и послеледниковья в Двинском заливе Белого моря по данным диатомового анализа // Геология морей и океанов: Материалы XXIII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии (Москва, ноябрь 2019). М.: ИО РАН, 2019. С. 19–23.
- Алявдин Ф.А., Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Спиридонова Е.А., Эйчгорн Г.Л.* Новые данные по геологии северо-западной части Белого моря // Природа и хозяйство Севера. 1977. Вып. 6. С. 30–38.
- Астафьев Б.Ю., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., Воинов А.С., Журавлев В.А., Ногина М.Ю., Парамонова М.С., Пешкова И.Н., Поляков А.А., Рыбалко А.Е., Солонина С.Ф., Семенова Л.Р., Суриков С.Н., Шаров Н.В., Шкарубо С.И.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1000000 (третье поколение). Сер. Балтийская. Л. Q-37. Архангельск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012а. 302 с.
- Астафьев Б.Ю., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., Воинов А.С., Горбачевич Н.Р., Журавлев В.А., Ногина М.Ю., Парамонова М.С., Проскурин Г.Ю., Рыбалко А.Е., Семенова Л.Р., Суриков С.Н., Шкарубо С.И.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1000000 (третье поколение). Сер. Балтийская. Л. Q-(35), 36. Апатиты. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012б. 436 с.
- Балуев А.С., Журавлев В.А.* Геологическое строение и тектоническая эволюция дочетвертичного ложа Белого моря и прилегающих территорий // Система Белого моря. Т. IV: Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 9–16.
- Баранская А.В., Мазнев С.В., Романенко Ф.А., Шилова О.С.* Новейшие движения земной коры Карельского берега Белого моря // Арктика и Антарктика. 2019. № 2. С. 16–33. <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2019.2.29635>
- Гей Н.А., Джиноридзе Р.Н., Калугина Л.В., Кириенко Е.А., Москаленко П.Е., Рыбалко А.Е., Спиридонова Е.А., Спиридонов М.А.* Стратиграфия позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Онежского залива // Вестн. ЛГУ. Сер. 7. 1988. Вып. 4. С. 65–72.
- Глушанкова Н.И., Воскресенская Т.Н., Соболев В.М.* Геоэкологические обстановки и особенности осадконакопления в поздне- и послеледниковой истории Горла Белого моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Вып. 7. С. 44–48.
- Горшкова Т.И.* Химико-минералогическое исследование Баренцева и Белого морей // Тр. Гос. океанол. ин-та. 1931. Т. 1. № 2–3. С. 31–56.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1 : 1000000 (новая серия). Л. Q-(35)-37. Кировск. Объяснительная записка. СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 2001. 285 с.
- Гудина В.И., Евзеров В.Я.* Стратиграфия и фораминиферы верхнего плейстоцена Кольского полуострова. Новосибирск: Наука, 1973. 146 с.
- Девдариани Н.А.* Геологическое строение Беломорской впадины: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук. М.: МГУ, 1985. 21 с.
- Дерюгин К.М.* Фауна Белого моря и условия ее существования. Л.: Изд. Гос. гидрол. ин-та, 1928. 511 с.
- Джиноридзе Р.Н.* Диатомовые водоросли в донных осадках Белого моря // Вестн. ЛГУ. Сер. 7. 1974. № 6. Вып. 1. С. 151–159.
- Джиноридзе Р.Н., Калугина Л.В., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Спиридонова Е.А.* Стратиграфия верхнечетвертичных отложений северной части Белого моря // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей / отв. ред. Д.Е. Гершанович. М.: Наука, 1979. С. 34–39.
- Дорофеева Л.А., Прилуцкий Р.Е., Рыбалко А.Е., Бадинова В.П.* Метод определения изотопного состава кислорода палеовод на примере Белого моря в атлантическое время) и Атлантического океана // Методы изотопной геологии. СПб.: ИГГД, 1991. С. 57–58.
- Евзеров В.Я.* Стратиграфия и хронология межледниковых отложений Кольского полуострова // Материалы по геологии и металлогении Кольского полуострова. Апатиты: Кольский филиал АН СССР, 1971. Вып. 11. С. 98–104.
- Евзеров В.Я.* Отложения позднеплейстоценовых морских трансгрессий в Беломорской котловине // Региональная геология и металлогения. 2007. № 30–31. С. 172–178.
- Евзеров В.Я., Виноградов А.Н., Николаева С.Б.* Новейший этап развития Беломорской котловины // ДАН. 2016. Т. 471. № 4. С. 450–454. <https://doi.org/10.7868/S086956521634017X>
- Евзеров В.Я., Еловичева Я.К., Лебедева Р.М., Раямяз Р.А.* Стратиграфия плейстоценовых отложений южной части Кольского полуострова // Геология плейстоцена северо-запада СССР. Апатиты: Изд. КФАН СССР, 1981. С. 97–107.

- Евзеров В.Я., Колька В.В., Корсакова О.П.* История развития морских бассейнов в Беломорской депрессии за последние 130 тысяч лет (состояние вопроса и перспективы исследований) // Бюлл. ком. по изуч. четвертич. периода. 2007. № 67. С. 54–66.
- Евзеров В.Я., Николаева С.Б.* Пояса краевых ледниковых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.
- Евзеров В.Я., Николаева С.Б.* Сейсмоструктурные последствия развития покровных оледенений четвертичного периода в Кольском регионе // Геоморфология. 2003. № 2. С. 61–64.
- Журавлев В.А., Варламова А.А., Рыбалко А.Е.* Четвертичные отложения Белого моря и их связь с древними геологическими структурами // Связь поверхностных структур земной коры с глубинными: Материалы XIV междунар. конф. (Петрозаводск, 2008). Ч. 1. Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2008. С. 195–197.
- Журавлев В.А., Куприн В.Ф., Лукьянова Л.И., Парамонова М.С., Пешкова И.Н., Рыбалко А.Е., Семенова Л.Р., Солонина С.Ф., Суриков С.Н., Чернова И.В., Чуйко М.А., Шаров Н.В., Шкарубо С.И., Якобсон К.Э.* Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-6 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Мезенская. Л. Q-38. Мезень. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 311 с.
- Зарецкая Н.Е.* Голоценовая история дельты р. Северной Двины // Геоморфология. 2018. № 1. С. 3–17.
- Ионин А.С., Каплин П.А., Медведев В.С.* Некоторые результаты региональных исследований на побережьях морей Советского Союза // Тр. Ин-та океанол. АН СССР. 1961. Т. 48. С. 54–71.
- Калинин А.В., Калинин В.В., Пивоваров Б.Л.* Сейсмоакстические исследования на акваториях. М.: Недра, 1983. 204 с.
- Каплин П.А., Парунин О.Б., Шлюков А.И., Гракова И.В., Хаит В.З., Федеров Е.В.* Список радиоуглеродных датировок Лаборатории географического факультета МГУ и Института океанологии АН СССР // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1971. № 4. С. 104–108.
- Кириенко Е.А.* О комплексе фораминифер в донных отложениях Белого моря // Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода Севера Европейской части СССР. Петрозаводск: Карельск. филиал АН СССР, 1977. С. 40–47.
- Колька В.В., Евзеров В.Я., Меллер 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. 2013а. № 1. С. 73–88.
- Колька В.В., Евзеров В.Я., Меллер Я.Й., Корнер Г.Д.* Последледниковые гляциоизостатические поднятия на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова. Апатиты: КНЦ РАН, 2005. С. 15–25.
- Колька В.В., Корсакова О.П.* Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения северо-востока Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря. Т. IV: Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. С. 222–249.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Лаврова Н.Б.* Палеогеографические условия осадконакопления в малых озерных котловинах Поморского берега Белого моря // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2015а. № 5. С. 70–85.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Лаврова Н.Б., Шелехова Т.С., Зарецкая Н.Е.* Литология, биостратиграфия и геохронология позднеплейстоцен-голоценовых осадков на побережье Онежского залива Белого моря // ДАН. 2019. Т. 485. № 2. С. 221–225.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Лаврова Н.Б., Шелехова Т.С., Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С., Зарецкая Н.Е.* Стратиграфия донных осадков малых озер и палеогеография западного берега – Онежского залива Белого моря в позднеледниковье и голоцене // Геоморфология. 2018а. № 2. С. 48–59.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Толстоброва А.Н., Толстобров Д.С., Ваишков А.А.* Количественные показатели дифференцированных движений морфотектонических блоков на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Тр. Ферсмановской науч. сессии ГИ КНЦ РАН. 2018б. № 15. С. 205–208.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Алексеева А.Н., Толстобров Д.С., Лаврова Н.Б.* Временная последовательность перемещения береговой линии Белого моря в голоцене по данным изучения донных отложений озер района Кузема (Северная Карелия) // Изв. РГО. 2014. Т. 146. Вып. 6. С. 14–26.
- Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б.* Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на карельском берегу (район поселка Энгозеро, северная Карелия) // ДАН. 2013б. Т. 449. № 5. С. 587–592. <https://doi.org/10.7868/S0869565213110182>
- Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Толстоброва А.Н.* Восстановление относительного положения уровня Белого моря в позднеледниковье и голоцене по данным литологического, диатомового анализов и радиоуглеродного датирования донных отложений малых озер в районе Чупа (северная Карелия) // Вестн. МГТУ. 2015б. Т. 18. № 2. С. 255–268.
- Колька В.В., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б., Корсакова О.П.* Литология и микропалеонтология донных отложений малого озера острова Олений в Кандалакшском заливе Белого моря // Вестн. Геологического ин-та Коми НЦ УО РАН. 2018в. № 5. С. 33–40.
- Корсакова О.П., Колька В.В., Зозуля Д.Р.* Геология, стратиграфия и особенности минерализации плейстоцен-голоценовых осадков северного побережья Белого моря / Север-2003: проблемы и решения. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 202–217.
- Корсакова О.П., Семенова Л.Р., Колька В.В.* Средне- и верхнеледниковые осадки в разрезе обнажения Варзуга (юг Кольского полуострова) // Региональная геология и металлогения. 2011. № 48. С. 19–24.

- Кошечкин Б.И.* Перемещение береговой линии Баренцева и Белого морей в поздне-последлениковское время // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1975. № 4. С. 91–100.
- Лаврова М.А.* К геологии Онежского полуострова Белого моря // Тр. геол. музея АН СССР. 1931. Т. VIII. С. 3–26.
- Лаврова М.А.* Основные этапы четвертичной истории Кольского полуострова // Изв. Всесоюз. географ. общ-ва. 1947. Т. 79. Вып. 1. С. 21–38.
- Лаврова М.А.* Четвертичная геология Кольского полуострова. М.–Л.: Изд. АН СССР, 1960. 234 с.
- Лисицын А.П., Шевченко В.П., Немировская И.А., Ключиткин А.А., Кравчишина М.Д., Новигатский А.Н., Новичкова Е.А., Политова Н.В., Филиппов А.С.* Развитие четырехмерной океанологии и создание фундаментальных основ комплексного мониторинга морских экосистем (на примере Белого моря) // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. М.: Научный мир, 2010. С. 559–596.
- Лудикова А.В., Субетто Д.А.* Изменение уровня Белого моря в позднем плейстоцене-голоцене по данным диатомового анализа донных отложений озер Соловецкого архипелага // Вопросы современной альгологии. 2015. № 3 (10). <http://algology.ru/824>
- Малясова Е.С.* Палинология донных осадков Белого моря. Л.: Изд. Ленингр. ун-та, 1976. 118 с.
- Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Джиноридзе Р.Н., Калугина А.В., Кириенко Е.А., Спиридонова Е.А.* Стратотип позднеплейстоценовых и голоценовых отложений Соловецкого шельфа Белого моря // Палинология плейстоцена и голоцена / отв. ред. Ю.П. Селиверстов. Л.: Изд. ЛГУ, 1981. С. 116–134.
- Мануйлов С.Ф., Рыбалко А.Е., Спиридонова Е.А., Спиридонов М.А.* Четвертичная геология северо-западной части Белого моря // Стратиграфия и палеогеография четвертичного периода Севера Европейской части СССР. Петрозаводск: Карельск. филиал АН СССР, 1977. С. 47–55.
- Невеский Е.Н., Медведев В.С.* Осадконакопление в Кандалакшском заливе в поздне-последлениковское время // Процессы развития и методы исследования прибрежной зоны моря. М.: Наука, 1973. С. 54–75.
- Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В.* Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1976. 240 с.
- Николаева С.Б., Никонов А.А., Шварев С.В., Родкин М.В.* Комплексные палеосейсмогеологические исследования на ключевом участке в юго-западной части Кольского полуострова (северо-восток Фенноскандинавского щита) // ДАН. 2016. Т. 469. № 2. С. 199–203. <https://doi.org/10.7868/S0869565216200172>
- Новичкова Е.А., Полякова Е.И.* Последлениковская история развития западной части Белого моря по данным анализа водных и наземных палиноморф // Геология, география и экология океана: Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию со дня рождения Д.Г. Панова (Ростов-на-Дону, июнь 2009). Ростов-на-Дону: Изд. ЮНЦ РАН, 2009. С. 250–253.
- Новичкова Е.А., Рейхард Л.Е., Лисицын А.П., Рыбалко А.Е., А. де Вернал.* Новые данные по истории развития Двинского залива Белого моря в голоцене // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 365–369.
- Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Лисицын А.П., Баух Х.А., Рыбалко А.Е.* Современные данные по биостратиграфии и геохронологии донных осадков Белого моря // ДАН. 2014. Т. 454. № 4. С. 467–473. <https://doi.org/10.7868/S0869565214040203>
- Репкина Т.Ю., Гуринов А.Л., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Луговой Н.Н., Дудоркин Е.С., Перетрухина А.О.* Новые данные о строении рельефа и последлениковых отложений побережий пролива Горло и Онежского полуострова (Белое море) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020а. Вып. 7. С. 158–163. <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2020-10724>
- Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Субетто Д.А.* Морфодинамика берегов северо-запада Онежского полуострова Белого моря в голоцене. Губа Конюхова // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2018. № 1. С. 3–22. <https://doi.org/10.17076/bg717>
- Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Шилова О.С., Луговой Н.Н., Садков С.А.* Юго-восточный берег Горла Белого моря в голоцене: рельеф, отложения, динамика // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. СПб., 2019а. Вып. 6. С. 146–153.
- Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А.* Рельеф побережий Бабьего моря и о. Великого: история развития и современные изменения // Комплексные исследования Бабьего моря, полуизолированной беломорской лагуны: геология, гидрология, биота – изменения на фоне трансгрессии берегов. М.: Т-во научных изданий КМК, 2016. С. 177–210.
- Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Зарецкая Н.Е., Кублицкий Ю.А., Леонтьев П.А., Шилова О.С., Белichenко А.Е., Архипов В.В., Яковлева А.П.* Динамика западного берега Унской губы (Летний берег Белого моря) в голоцене и его заселение: Материалы XXIII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии “Геология морей и океанов”. М.: ГЕОС, 2019б. Т. 3. С. 212–216.
- Репкина Т.Ю., Романенко Ф.А., Лудикова А.В., Зарецкая Н.Е.* Северо-западные берега Онежского полуострова Белого моря в голоцене: условия развития, динамика, хронология // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020б. № 84 (6). С. 888–904. <https://doi.org/10.31857/S2587556620060096>
- Репкина Т.Ю., Яковлева А.П., Леонтьев П.А., Зарецкая Н.Е., Белichenко А.Е.* Морфодинамика берегов Онежского залива Белого моря в голоцене (окрестности с. Пурнема) // География: развитие науки и образования: Сб. статей по материалам ежегодн. междунар. науч.-практ. конф. LXXIV Герценовские чтения. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2021. Т. 1. С. 163–167.
- Романенко Ф.А., Шилова О.С.* Последлениковское поднятие Карельского берега Белого моря по данным радиоуглеродного и диатомового анализов озерно-

- болотных отложений п-ова Киндо // ДАН. 2012. Т. 442. № 4. С. 544–548.
- Рыбалко А.Е.* Позднечетвертичный седиментогенез внутренних морей гляциальных шельфов Северо-Запада России: Автореф. дисс. ... д-ра геол.-минерал. наук. СПб.: ВСЕГЕИ, 1998. 48 с.
- 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.: Научный мир, 2017. С. 16–84.
- Рыбалко А.Е., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Журавлев В.А., Варламова А.А., Никитин М.А.* Новые данные о геологическом строении четвертичного покрова Белого моря // Геология, география и экология океана: Материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Д.Г. Панова (Ростов-на-Дону, июнь 2009). Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009а. С. 286–288.
- Рыбалко А.Е., Назарова О.В., Никитин М.А., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Журавлев В.А.* Новые данные о геологии четвертичного покрова в Белом море // Геология морей и океанов: Материалы XVIII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2009б. Т. III. С. 232–236.
- Рыбалко А.Е., Семенова Л.Р., Журавлев В.А.* Четвертичные отложения Белого моря // Геология морей и океанов: Материалы XIX Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2011. Т. III. С. 256–260.
- Рыбалко А.Е., Спиридонов М.А., Спиридонова Е.А., Москаленко П.Е.* Четвертичные отложения Онежского залива и основные черты его палеогеографии в плейстоцене-голоцене // Комплексные морские геолого-геофизические исследования внутренних морей гляциального шельфа. Л.: ВСЕГЕИ, 1987. С. 38–52.
- Семенова Л.Р., Рыбалко А.Е., Журавлев В.А.* Стадии оледенений позднего неоплейстоцена Кольского полуострова и Беломорья: Материалы VII Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода (Апатиты, 12–17 сентября 2011 г.). Апатиты: Геол. ин-т КНЦ РАН, 2011. Т. 2. С. 232–233.
- Система Белого моря. Т. 4: Процессы осадкообразования, геология и история. М.: Научный мир, 2017. 1027 с.
- Соболев В.М.* Состав, стратиграфия позднечетвертичных отложений Горла Белого моря и основные черты его палеогеографии // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: Изд. МГУ, 2008. С. 144–156.
- Соболев В.М., Аleshинская З.В., Полякова Е.И.* Новые данные о палеогеографии Белого моря в позднем плейстоцене-голоцене // Корреляция палеогеографических событий: материк–шельф–океан / ред. А.А. Свиточ. М.: Изд. МГУ, 1995. С. 120–129.
- Сорокин В.М., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Баскакова Г.В., Мурашка А.П.* Комплексные геолого-геофизические исследования осадочного чехла пролива Великая Салма // Разведка и охрана недр. 2009. № 2. С. 47–52.
- 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. 45–55.
- Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Замотина З.С., Терехина Я.Е.* Роль ледникового и литодинамического факторов в формировании осадочного чехла пролива Великая Салма (Белое море) // Вестн. МГУ. Сер. Геология. 2022. № 1. С. 62–70.
- Стрелков С.А., Евзеров В.Я., Кошечкин Б.И., Рубинрат Г.С., Афанасьев А.П., Лебедева Р.М., Каган Л.Я.* История формирования рельефа и рыхлых отложений северо-восточной части Балтийского щита / ред. М.К. Граве, С.А. Стрелков. Л.: Наука, 1976. 164 с.
- Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Лисицын А.П., Евзеров В.Я., Ван Беек П., Суо М., Субетто Г.Д.* Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 183–190.
- Чохотин П.С., Медведев В.С., Лонгинов В.В.* Песчаные гряды и волны на шельфе приливных морей // Океанология. 1972. Т. 12. Вып. 3. С. 457–569.
- Шварев С.В., Никонов А.А.* Морфотектоника бассейна Белого моря в сопоставлении с уточненными характеристиками исторических землетрясений // Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология: Материалы Всерос. науч. конф. (Москва, сентябрь 2018). М.: КДУ, Университетская книга, 2018. С. 174–179.
- Шилова О.С., Зарезкая Н.Е., Репкина Т.Ю.* Голоценовые отложения Юго-Восточного побережья Горла Белого моря: новые данные диатомового и радиоуглеродного анализов // ДАН. 2019. Т. 488. № 6. С. 661–666.
<https://doi.org/10.31857/S0869-56524886661-666>
- Шлыкова В.В.* Геологическое строение верхней части осадочного чехла бассейна Белого моря: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. Мурманск: ММБИ КНЦ РАН, 2007. 27 с.
- Шлыкова В.В., Тарасов Г.А.* Особенности сейсмоактивного строения кайнозойских отложений Белого моря // ДАН. 2006. Т. 409. № 4. С. 518–525.
- Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M.* Glaciomorphological Map of the Russian Federation // Quat. Int. 2016. Iss. 420. P. 4–14.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024>
- Korsakova O.P.* Pleistocene marine deposits in the coastal areas of Kola Peninsula (Russia) // Quat. Int. 2009. Vol. 206. P. 3–15.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.11.004>
- Kublitskiy Y.A., Repkina T.Y., Leontiev P.A., Zaretskaya N.E., Peretruchina A.O., Shilova O.S., Subetto D.A., Nam S.I., Kim J.-H.* Reconstruction of the relative sea-level (RSL) of the Gulf of Dvina (White Sea) based on the study of lake sediments on the Onega Peninsula // Limnology and Freshwater Biol. 2020. Iss. 4. P. 451–452.
<https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-451>
- Ludikova A.V., Subetto D.A., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V.* From a large basin to a small lake: Siliceous microfossils stratigraphy of the isolation basins on Big Solovetskiy

- Island (the White Sea, NW Russia) and its implication for paleoreconstructions // *Quat. Int.* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.07.007>
- Rybalko A.E., Zhuravlyov V.A., Semenova L.R., Tokarev M. Yu. Development history and Quaternary deposits of the White Sea basin // *Sedimentation Processes in the White Sea* / A.P. Lisitzin and L.L. Demina (Eds.). Switzerland AG: Springer Nature, 2018. 287 p.
- Terekhina Ya.E., Barymova A.A., Isachenko A.I., Kokorin A.I., Kozlovskiy V.V., Mikhaylyukova P.G., Mokievsky V.O., Repkina T. Yu., Rybalko A.E., Tokarev M. Yu., Shabalyn N.V. Geomorphological and habitat mapping of the glaciated shelf (the Velikaya Salma Strait of the Kandalaksha Gulf of the White Sea, Russia) // *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats* / P.T. Harris and E.K. Baker (Eds.). Elsevier, 2020. P. 655–673. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00039-7>
- Zaretskaya N.E., Rybalko A.E., Repkina T. Yu., Shilova O.S., Krylov A.V. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): stratigraphy and palaeoenvironments // *Quat. Int.* 2021. Iss. 605–606. P. 126–141. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>

The Main Stages in Studying Quaternary Deposits of the White Sea and Controversial Problems of Its Late Pleistocene and Holocene Paleogeography

A. E. Rybalko^{1, 2, 3, *}, T. Yu. Repkina^{4, 5}, A. V. Starovoitov⁶, N. E. Zaretskaya^{4, 7}, O. P. Korsakova⁸, D. A. Subetto^{3, 5}, M. Yu. Tokarev⁶, and P. Yu. Belyaev²

¹*Institute of Earth Sciences, St. Petersburg, Russia*

²*FSBIVNIOkeanologiya, St. Petersburg, Russia*

³*Northern Water Problems Institute of the Federal Research Centre “Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences,” Petrozavodsk, Russia*

⁴*Institute of Geography RAS, Moscow, Russia*

⁵*Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia*

⁶*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

⁷*Geological Institute of RAS, Moscow, Russia*

⁸*Geological Institute of the Federal Research Center “Kola Science Center” RAS, Apatity, Russia*

*e-mail: alek-rybalko@yandex.ru

From the geological point of view, the White Sea is one the best studied basins. The first schemes of its evolution were put forward by I.K. Avilov based on the data obtained before 1950, and by M.A. Lavrova based on the results of studying coastal outcrops on the Kola and Onega peninsulas and in Karelia. Research activities of the Institute of Oceanology, Academy of Sciences of the USSR, in the White Sea in 1964–1968 under the leadership of E.N. Nevesskii made it possible to present the first lithostratigraphic scheme of its Quaternary sequence and to distinguish the following stages in its evolution: glacial, glacial-marine, transitional, and marine. The onset of the first periglacial basins dates back to the Middle Dryas, while the glacier with surrounding ice shelves occupied a significant part of the White Sea basin. Besides extensive geological sampling, research activities of VSEGEI and Moscow State University in 1970–1986 included seismoacoustic profiling and side scan sonar survey, which were for the first time applied for the shelf geological survey. New data on the distribution of varved glaciolacustrine beds gave evidence for the initiation of water basin in the White Sea depression, which was later filled with the Barents Sea waters since the Allerød until the Boreal. Further studies (MAGE, Sevmorgeo, IO RAS, VSEGEI) made it possible to obtain fundamentally new geological and geophysical materials and to build geological maps at a scale of 1 : 1 000 000 for the entire seabed of the White Sea. These research activities included specific biostratigraphic studies and dating of the Quaternary sediment sequences. Specialists from KSC RAS, Institute of Lacustrine Research RAS, Moscow State University, Herzen Russian State Pedagogical University, and Institute of Geography RAS carried out coastal research that included drilling of lakes recently isolated from the sea. The latter made it possible to clarify the age and number of Postglacial transgressive-regressive cycles of the White Sea and to establish the limits of marine basins on land. Also, the peculiarities of neotectonic processes on the Kola Peninsula and their influence on the development of underwater gravity processes are highlighted.

Keywords: White Sea, lithostratigraphy, stratigraphic scheme, palynology, glacio-marine deposits, marine perluvium, lithodynamics, glaciostatic transgression, ice sheets, seismic dislocations

REFERENCES

- Agafonova E.A., Polyakova Ye.I., Novichkova Ye.A. Paleooceanological events of late-and postglacial time in the Dvina Bay of the White Sea inferred from diatom assemblages. In *Geologiya morei i okeanov: Mater. XXIII mezhdunar. nauch. konf. (Shkoly) po morskoi geologii* [Geology of Seas and Oceans: Proc. XXIII Int. Conf. on Marine Geology]. Moscow, 2019, pp. 19–23. (In Russ.).

- Alyavdin F.A., Manuilov S.F., Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Spiridonova E.A. New data about geology of White Sea North-West. *Priroda i Khozyaistvo Severa*, 1977, no. 3, pp. 30–38. (In Russ.).
- Astaf'ev B.Yu., Bogdanov Yu.B., Voinova O.A., Voinov A.S., Zhuravlev V.A., Nogina M.Yu., Paramonova M.S., Peshkova, I.N., Polyakov A.A., Rybalko A.E., Solonina S.F., Semenova L.R., Surikov S.N., Sharov N.V., Shkarubo S.I. State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1000000 (3d generation). Series Baltic. Sheet Q-37 – Arkhangel'sk. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI, 2012a. 302 p. (In Russ.).
- Astaf'ev B.Yu., Bogdanov Yu.B., Voinova O.A., Voinov A.S., Gorbatshevich N.R., Zhuravlev V.A., Nogina M.Yu., Paramonova M.S., Proskurin G.Yu., Rybalko A.E., Semenova L.R., Surikov S.N., Shkarubo S.I. State geological map of the Russian Federation. Scale 1 : 1000000 (3d generation). Series Baltic. Sheet Q-(35), 36 – Apatity. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI, 2012b. 436 p. (In Russ.).
- Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M. Glaciomorphological Map of the Russian Federation. *Quat. Int.*, 2016, no. 420, pp. 4–14. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.09.024>
- Avenarius I.G. Morphostructure of the White Sea region. *Geomorfologiya*, 2004, 3, pp. 48–56. (In Russ.).
- Avilov I.K. Thickness of recent sediments and postglacial history of the White Sea. *Tr. Gos. Okeanogr. Inst.*, 1956, no. 3, pp. 47–45. (In Russ.).
- Baluev A.S. Zhuravlev V.A. Geological structure and tectonic evolution of the pre-Quaternary bed of the White Sea and the discovery of their phenomena. In *Sistema Belogo morya* [System of the White Sea]. Vol. 4: *Protsessy osadkoobrazovaniya, geologiya i istoriya* [Sedimentation Processes, Geology, and History]. Moscow: Nauchn. Mir Publ., 2017, pp. 9–16. (In Russ.).
- Baranskaya A.V., Maznev S.V., Romanenko F.A., Shilova O.S. Modern movements of earth crust of Karelsky coast of the White Sea. *Arktika i Antarktika*, 2019, no. 2, pp. 16–33. (In Russ.). <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2019.2.29635>
- Chakhotin P.S., Medvedev V.S., Longinov V.V. Sand ridges and waves on the shelf of tidal seas. *Okeanologiya*, 1972, vol. 12, no. 3, pp. 457–569. (In Russ.).
- Deryugin K.M. *Fauna Belogo morya i usloviya ee suschestvovaniya* [Fauna of the White Sea and Conditions of Its Existence]. Leningrad: Gos. Gidrol. Inst., 1928. 511 p. (In Russ.).
- Devdariani N.A. Geological structure of the White Sea depression. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geol.-Mineral.)* Dissertation. Moscow: Moscow State Univ., 1985. 21 p.
- Dorofeeva L.A., Prilutsky R.E., Rybalko A.E., Badinova V.P. A method for determining the oxygen isotopic composition of paleowaters using the example of the White Sea in the Atlantic time and the Atlantic Ocean. In *Metody izotopnoi geologii* [Methods of Isotope Geology]. St. Petersburg: IGGD, 1991, pp. 57–58. (In Russ.).
- Dzhinoridze R.N. Diatoms in the bottom sediments of the White Sea. *Vestn. Leningrad. Gos. Univ., Ser. 7*, 1974, vol. 6, no. 1, pp. 151–159. (In Russ.).
- Dzhinoridze R.N., Kalugina L.V., Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Spiridonova E.A. Stratigraphy of Upper Quaternary deposits of the northern part of the White Sea. In *Pozdnechetvertichnaya istoriya i sedimentogenez okrainnykh i vnutrennikh morei* [Late Quaternary History and Sedimentogenesis of Marginal and Inland Seas]. Moscow: Nauka Publ., 1979, pp. 34–39. (In Russ.).
- Evzerov V.Ya. Deposits of Late Pleistocene marine transgressions in the White Sea Basin. *Reg. Geol. i Metallogeniya*, 2007, nos. 30–31, pp. 172–178. (In Russ.).
- Evzerov V.Ya. Stratigraphy and chronology of interglacial deposits of the Kola Peninsula. In *Materialy po geologii i metallogenii Kol'skogo poluostrova* [Materials on Geology and Metallogeny of the Kola Peninsula]. Apatity: Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1971, vol. 11, pp. 98–104. (In Russ.).
- Evzerov V.Ya., Elovicheva Ya.K., Lebedeva R.M., Rayamyae R.A. Stratigraphy of the Pleistocene deposits of the southern part of the Kola Peninsula. In *Geologiya pleistotsena severo-zapada SSSR* [Pleistocene Geology of the North-West of the USSR]. Apatity: Kola Branch of the USSR Academy of Sciences, 1981, pp. 97–107. (In Russ.).
- Evzerov V.Ya., Kolka V.V., Korsakova O.P. The history of the development of marine basins in the White Sea depression over the past 130 thousand years (state of the issue and prospects for research). *Byull. Kom. po Izuch. Chetvertich. Perioda*, 2007, vol. 67, pp. 54–66. (In Russ.).
- Evzerov V.Ya., Nikolaeva S.B. Belts of marginal glacial formations in the Kola region. *Geomorfologiya*, 2000, no. 1, pp. 61–73. (In Russ.).
- Evzerov V.Ya., Nikolaeva S.B. Seismotectonic consequences of the development of Quaternary ice sheets in the Kola Region. *Geomorfologiya*, 2003, no. 2, pp. 61–64. (In Russ.).
- Evzerov V.Ya., Vinogradov A.N., Nikolaeva S.B. The latest stage in the development of the White Sea Basin. *Dokl. Akad. Nauk*, 2016, vol. 471, no. 4, pp. 450–454. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S086956521634017X>
- Gey N.A., Dzhinoridze R.N., Kalugina L.V., Kirienko E.A., Moskalenko P.E., Rybalko A.E., Spiridonova E.A., Spiridonov M.A. Stratigraphy of the Late Pleistocene and Holocene deposits of Onega Bay. *Vestn. Leningrad. Gos. Univ., Ser. 7*, 1988, no. 4, pp. 65–72. (In Russ.).
- Glushankova N.I., Voskresenskaya T.N., Sobolev V.M. Geoecological conditions and features of sedimentation in the late and postglacial history of the White Sea Throat. *Rel'ef i Chetvertichn. Otlozhenia Arktiki, Subarkтики i Severo-Zapada Rossii*, 2020, no. 7, pp. 44–48. (In Russ.).
- Gorshkova T.I. Chemical and mineralogical study of the Barents and White Seas. *Tr. Gos. Okeanol. Inst.*, 1931, vol. 1, nos. 2–3, pp. 31–56. (In Russ.).
- Gudina V.I., Evzerov V.Ya. *Stratigrafiya i foraminifery verkhnego pleistotsena Kol'skogo poluostrova* [Stratigraphy and Foraminifers of the Upper Pleistocene of the Kola Peninsula]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1973. 146 p.
- Ionin A.S., Kaplin P.A., Medvedev B.C. Some results of regional studies on the coasts of the seas of the Soviet

- Union. *Tr. Inst. Okeanol. AN SSSR*, 1961, vol. 48, pp. 54–71. (In Russ.).
- Kalinin A.V., Kalinin V.V., Pivovarov B.L. *Seismoakusticheskie issledovaniya na akvatoriyakh* [Seismoacoustic Studies in Water Areas]. Moscow: Nedra Publ., 1983. 204 p.
- Kaplin P.A., Parunin O.B., Shlyukov A.I., Grakova I.V., Khait V.Z., Federov E.V. List of radiocarbon datings of the Laboratory of the Faculty of Geography of Moscow State University and the Institute of Oceanology of the Academy of Sciences of the USSR. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 1971, no. 4, pp. 104–108. (In Russ.).
- Kirienko E.A. On the assemblage of foraminifers in the bottom sediments of the White Sea. In *Stratigrafiya i paleogeografiya chetvertichnogo perioda Severa Evropeiskoi chasti SSSR* [Stratigraphy and Paleogeography of the Quaternary Period in the North of the European Part of the USSR]. Petrozavodsk: Karel. Filial Akad. Nauk SSSR, 1977, pp. 40–47. (In Russ.).
- Kolka V.V., Evzerov V.Ya., Möller Ya.J., Corner G.D. Post-glacial glacioisostatic uplifts in the northeast of the Baltic Shield. In *Novye dannye po geologii i poleznym iskopayemym Kol'skogo poluoostrova* [New Data on Geology and Mineral Resources of the Kola Peninsula]. Apatity: KSC RAS, 2005, pp. 15–25. (In Russ.).
- Kolka V.V., Evzerov V.Ya., Möller Ya.J., Corner G.D. Sea level shift in the Late Pleistocene–Holocene and stratigraphy of bottom sediments of isolated lakes on the southern coast of the Kola Peninsula, near the village of Umba. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013a, no. 1, pp. 73–88. (In Russ.).
- Kolka V.V., Korsakova O.P. Position of the coastline of the White Sea and neotectonic movements of the northeast of Fennoscandia in the Late Glacial and Holocene. In *Sistema Belogo morya* [System of the White Sea]. Vol. IV: *Protssesy osadkoobrazovaniya, geologiya i istoriya* [Sedimentation Processes, Geology and History]. Moscow: Nauchnyi Mir Publ., 2017, pp. 222–249. (In Russ.).
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Lavrova N.B. Paleogeographic conditions of sedimentation in small lake basins of the Pomor coast of the White Sea. *Tr. Karel. Nauchn. Tsentra RAN*, 2015a, no. 5, pp. 70–85. (In Russ.).
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Lavrova N.B., Shelekhova T.S., Zaretskaya N.E. Lithology, biostratigraphy, and geochronology of the Late Pleistocene–Holocene sediments on the coast of Onega Bay of the White Sea. *Dokl. Earth Sci.*, 2019, vol. 485, pp. 312–316. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19030115>
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Lavrova N.B., Shelekhova T.S., Tolstobrova A.N., Tolstobrov D.S., Zaretskaya N.E. Stratigraphy of bottom sediments of small lakes and paleogeography of the western coast – Onega Bay of the White Sea in the Late Glacial and Holocene. *Geomorfologiya*, 2018a, no. 2, pp. 48–59. (In Russ.).
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Shelekhova T.S., Alekseeva A.N., Tolstobrov D.S., Lavrova N.B. Time sequence of movement of the coastline of the White Sea in the Holocene according to the study of bottom sediments of the lakes of the Kuzema region (North Karelia). *Izv. Russ. Geogr. O-va*, 2014, vol. 146, no. 6, pp. 14–26. (In Russ.).
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Shelekhova T.S., Lavrova N.B. Reconstruction of the relative position of the White Sea level in the Holocene on the Karelian coast (near the village of Engozero, northern Karelia). *Dokl. Akad. Nauk*, 2013, vol. 449, no. 5, pp. 587–592. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0869565213110182>
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Shelekhova T.S., Tolstobrova A.N. Reconstruction of the relative position of the White Sea level in the Late Glacial and Holocene according to lithological, diatom analysis and radiocarbon dating of bottom sediments of small lakes in the Chupa region (Northern Karelia). *Vestn. MGTU*, 2015b, vol. 18, no. 2, pp. 255–268. (In Russ.).
- Kolka V.V., Korsakova O.P., Tolstobrova A.N., Tolstobrov D.S., Vashkov A.A. Quantitative indicators of differentiated movements of morphotectonic blocks on the coast of the Kandalaksha Bay of the White Sea. *Tr. Fersmanovskoi Nauchn. Sessii GI KNTs RAN*, 2018b, no. 15, pp. 205–208. (In Russ.).
- Kolka V.V., Shelekhova T.S., Lavrova N.B., Korsakova O.P. Lithology and micropaleontology of bottom sediments of the small lake of Oleniy Island in the Kandalaksha Bay of the White Sea. *Vestn. Geol. Inst. Komi NTs UO RAN*, 2018, no. 5, pp. 33–40. (In Russ.).
- Korsakova O.P. Pleistocene marine deposits in the coastal areas of Kola Peninsula (Russia). *Quat. Int.*, 2009, vol. 206, pp. 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2008.11.004>
- Korsakova O.P., Kolka V.V., Zozulya D.R. Geology, stratigraphy and features of minerageny of the Pleistocene–Holocene sediments of the northern coast of the White Sea. In *Sever – 2003: problemy i resheniya* [North–2003: Problems and Solutions]. Apatity: KSC RAS, 2004, pp. 202–217. (In Russ.).
- Korsakova O.P., Semenova L.R., Kolka V.V. Middle and Upper Pleistocene sediments in the section of the Varguga outcrop (south of the Kola Peninsula). *Reg. Geol. i Metallogeniya*, 2011, vol. 48, pp. 19–24. (In Russ.).
- Koshechkin B.I. Movement of the coastline of the Barents and White Seas in the late post-glacial period. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1975, no. 4, pp. 91–100. (In Russ.).
- Kublitskiy Y.A., Repkina T.Y., Leontiev P.A., Zaretskaya N.E., Peretruchina A.O., Shilova O.S., Subetto D.A., Nam S.I., and Kim J.-H. Reconstruction of the relative sea-level (RSL) of the Gulf of Dvina (White Sea) based on the study of lake sediments on the Onega Peninsula. *Limnol. Freshw. Biol.*, 2020, no. 4, pp. 451–452. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-4-451>
- Lavrova M.A. About the geology of the Onega Peninsula of the White Sea. *Tr. Geol. Muzeya AN SSSR*, 1931, vol. 8, pp. 3–26. (In Russ.).
- Lavrova M.A. *Chetvertichnaya geologiya Kol'skogo poluoostrova* [Quaternary Geology of the Kola Peninsula]. Moscow, Leningrad: AN SSSR, 1960. 234 p.
- Lavrova M.A. The main stages of the Quaternary history of the Kola Peninsula. *Izv. Vses. Geogr. O-va*, 1947, vol. 79, no. 1, pp. 21–38. (In Russ.).
- Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Nemirovskaya I.A., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Novigatskii A.N., Novichkova E.A., Politova N.V., Filippov A. Development of four-dimensional oceanology and creation of

- fundamental foundations for integrated monitoring of marine ecosystems (on the example of the White Sea). In *Fizicheskie, geologicheskie i biologicheskie issledovaniya okeanov i morei* [Physical, Geological and Biological Studies of Seas and Oceans]. Moscow: Nauchnyi Mir Publ., 2010, pp. 559–596. (In Russ.).
- Ludikova A.V., Subetto D.A. Changes in the level of the White Sea in the late Pleistocene-Holocene according to diatom analysis of bottom sediments of the lakes of the Solovetsky Archipelago. *Vopr. Sovr. Al'gologii*, 2015, vol. 10, no. 3. (In Russ.). <http://algology.ru/824>
- Ludikova A.V., Subetto D.A., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V. From a large basin to a small lake: Siliceous microfossils stratigraphy of the isolation basins on Big Solovetskiy Island (the White Sea, NW Russia) and its implication for paleoreconstructions. *Quat. Int.*, 2021. (In press). <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.07.007>
- Malyasova E.S. *Palinologiya donnykh osadkov Belogo morya* [Palynology of the Bottom Sediments of the White Sea]. Leningrad: Leningrad. Univ., 1976. 118 p.
- Manuilov S.F., Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Dzhinoridze R.N., Kalugina A.V., Kirienko E.A., Spiridonova E.A. Stratotype of Late Pleistocene and Holocene deposits of the Solovetsky Shelf of the White Sea. In *Palinologiya pleistotsena i golotsena* [Palynology of the Pleistocene and Holocene]. Seliverstov Yu.P., Ed. Leningrad: Leningrad. Gos. Univ., 1981, pp. 116–134. (In Russ.).
- Manuilov S.F., Rybalko A.E., Spiridonova E.A., Spiridonov M.A. Quaternary geology of the northwestern part of the White Sea. In *Stratigrafiya i paleogeografiya chetvertichnogo perioda Severa Evropeiskoi chasti SSSR* [Stratigraphy and Paleogeography of the Quaternary Period in the North of the European part of the USSR]. Petrozavodsk: Karel. Filial Akad. Nauk SSSR, 1977, pp. 47–55. (In Russ.).
- Neveskii E.N., Medvedev V.S. Sedimentation in the Kandalaksha Bay in the late post-glacial period. In *Protsessy razvitiya i metody issledovaniya pribrezhnoi zony morya* [Processes of Development and Methods of Studying the Coastal Zone of the Sea]. Moscow: Nauka Publ., 1973, pp. 54–75. (In Russ.).
- Neveskii E.N., Medvedev V.S., Kalinenko V.V. *Beloe more. Sedimentogenez i istoriya razvitiya v golotsene* [The White Sea. Sedimentogenesis and History of Development in the Holocene]. Moscow: Nauka Publ., 1976. 240 p.
- Nikolaeva S.B., Nikonov A.A., Shvarev S.V., Rodkin M.V. Comprehensive paleoseismic geological studies in a key site in southwestern Kola Peninsula (Northeast of the Fennoscandian Shield). *Dokl. Earth Sciences*, 2016, vol. 469, no. 1, pp. 656–660. <https://doi.org/10.1134/S1028334X16070138>
- Novichkova E.A., Polyakova E.I. Post-glacial history of the development of the western part of the White Sea according to the analysis of aquatic and terrestrial palynomorphs. In *Geologiya, geografiya i ekologiya okeana: Mater. mezhdunar. nauchn. konf., posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya D.G. Panova* [Geology, Geography and Ecology of the Ocean: Proc. Int. Sci. Conf. Dedicated to the 100th Anniversary of the birth of D.G. Panova (Rostov-on-Don, June 2009)]. Rostov-on-Don: YuNTs RAN, 2009, pp. 250–253. (In Russ.).
- Novichkova E.A., Reichard L.E., Lisitsyn A.P., Rybalko A.E., de Vernal A. New data on the history of the development of the Dvina Bay of the White Sea in the Holocene. *Dokl. Akad. Nauk*, 2017, vol. 474, no. 3, pp. 365–369. (In Russ.).
- Polyakova E.I., Novichkova E.A., Lisitsyn A.P., Baukh H.A., Rybalko A.E. Modern data on biostratigraphy and geochronology of bottom sediments of the White Sea. *Dokl. Akad. Nauk*, 2014, vol. 454, no. 4, pp. 467–473. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0869565214040203>
- Repkina T.Yu., Gurinov A.L., Kublitskiy Yu.A., Leont'ev P.A., Lugovoi N.N., Dudorkin E.S., Peretruchina A.O. New data on the structure of the relief and post-glacial deposits of the coasts of the Gorlo Strait and the Onega Peninsula (White Sea). *Rel'ef i Chetvertichn. Obrazovaniya Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii*, 2020a, no. 7, pp. 158–163. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2020-10724>
- Repkina T.Yu., Romanenko F.A. The relief of the coasts of the Bab'e Sea and about. Velikogo: history of development and modern changes. In *Compleksnyye issledovaniya Bab'ego morya, polu-izolirovannoi belomorskoj laguny: geologiya, gidrologiya, biota – izmeneniya na fone transgressii beregov* [Complex Studies of the Bab'e Sea, a Semi-isolated White Sea Lagoon: Geology, Hydrology, Biota – Changes against the Background of Transgression of the Coasts]. Moscow: KMK Publ., 2016, pp. 177–210. (In Russ.).
- Repkina T.Yu., Romanenko F.A., Ludikova A.V., Zaretskaya N.E. Northwestern shores of the Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene: conditions of development, dynamics, chronology. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020b, vol. 84, no. 6, pp. 888–904. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S2587556620060096>
- Repkina T.Yu., Romanenko F.A., Zaretskaya N.E., Kublitskiy Yu.A., Leont'ev P.A., Shilova O.S., Belichenko A.E., Arkhipov V.V., Yakovleva A.P. Dynamics of the western coast of the Unskaya Bay (Summer Coast of the White Sea) in the Holocene and its settlement. In *Mater. XXIII Mezhdunar. Nauchn. Konf. (Shkoly) po morskoi geologii "Geologiya morei i okeanov"* [Proc. XXIII Int. Sci. Conf. (School) in Marine Geology "Geology of Seas and Oceans"]. Moscow: GEOS Publ., 2019b, vol. 3, pp. 212–216. (In Russ.).
- Repkina T.Yu., Yakovleva A.P., Leont'ev P.A., Zaretskaya N.E., Belichenko A.E. Morphodynamics of the shores of the Onega Bay of the White Sea in the Holocene (near the village of Purnema). In *Geografiya: razvitiye nauki i obrazovaniya. Sb. statei po mater. ezhegodnoi mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. LXXIV Gertsenovskie chteniya* [Geography: Development of Science and Education. Proc. Annual Int. Sci.-Pract. Conf. LXXIV Herzen Readings]. St. Petersburg: GGPU im. Gertsena, 2021, vol. 1, pp. 163–167. (In Russ.).
- Repkina T.Yu., Zaretskaya N.E., Shilova O.S., Lugovoi N.N., Sadkov S.A. Southeastern coast of the Throat of the White Sea in the Holocene: relief, sediments, dynamics. *Rel'ef i Chetvertichnye Obrazovaniya Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii*, 2019a, no. 6, pp. 146–153. (In Russ.).

- Repkina T.Yu., Zaretskaya N.E., Subetto D.A. Morphodynamics of the shores of the northwestern Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene. Guba Konyukhova. *Tr. Karel. Nauchn. Tsentra RAN*, 2018, no. 1, pp. 3–22. (In Russ.).
https://doi.org/10.17076/bg717
- Romanenko F.A., Shilova O.S. Post-glacial uplift of the Karelian coast of the White Sea according to radiocarbon and diatom analysis of lacustrine-swamp deposits of the Kindo Peninsula. *Dokl. Akad. Nauk*, 2012, vol. 442, no. 4, pp. 544–548. (In Russ.).
- Rybalko A.E. Late Quaternary edimentogenesis of the internal seas of the glacial shelves of the North-West of Russia. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) Dissertation*. St. Petersburg: VSEGEI, 1998. 48 p.
- Rybalko A.E., Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Zhuravlev V.A., Varlamova A.A., Nikitin M.A. New data on the geological structure of the Quaternary cover of the White Sea. In *Geologiya, geografiya i ekologiya okeana: Mater. mezhdunar. nauch. konf., posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya D.G. Panova* [Geology, Geography and Ecology of the Ocean: Proc. Int. Sci. Conf. dedicated to the 100th anniversary of the birth of D.G. Panov (Rostov-on-Don, June 2009)]. Rostov-on-Don: SSC RAS, 2009a, pp. 286–288. (In Russ.).
- Rybalko A.E., Nazarova O.V., Nikitin M.A., Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Zhuravlev V.A. New data on the geology of the Quaternary cover in the White Sea. In *Geologiya morei okeanov: Mater. XVIII mezhdunar. nauch. konf. (Shkoly) po morskoy geologii* [Geology of Seas and Oceans: Proc. XVIII Int. Sci. Conf. (School) on Marine Geology]. Moscow: GEOS Publ., 2009b, vol. 3, pp. 232–236. (In Russ.).
- Rybalko A.E., Semenova L.R., Zhuravlev V.A. Quaternary deposits of the White Sea. In *Geologiya morei i okeanov: mater. XVIII Mezhdunar. nauch. konf. (Shkoly) po morskoy geologii* [Geology of Seas and Oceans: Proc. XVIII Int. Sci. Conf. (School) on Marine Geology]. Moscow: GEOS Publ., 2011, vol. 3, pp. 256–260. (In Russ.).
- Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Spiridonova E.A., P.E. Moskalenko. Quaternary deposits of the Onega Bay and the main features of its paleogeography in the Pleistocene-Holocene. In *Kompleksnyye morskoye geologo-geofizicheskie issledovaniya vnutrennikh morei glyatsial'nogo shel'fa* [Comprehensive Marine Geological and Geophysical Studies of the Internal Seas of the Glacial Shelf]. Leningrad: VSEGEI, 1987, pp. 38–52. (In Russ.).
- Rybalko A.E., Zhuravlev V.A., Semenova L.R., Tokarev M.Yu. Quaternary deposits of the White Sea and the history of the development of the modern White Sea basin in the late Pleistocene-Holocene. In *Sistema Belogo morya* [System of the White Sea]. Vol. IV: *Protsessy osadkoobrazovaniya, geologiya i istoriya* [Sedimentation Processes, Geology, and History]. Moscow: Nauchnyi Mir Publ., 2017, pp. 16–84. (In Russ.).
- Rybalko A.E., Zhuravlyov V.A., Semenova L.R., Tokarev M.Yu. Development history and Quaternary deposits of the White Sea basin. In *Sedimentation Processes in the White Sea*. Lisitzin A.P., Demina L.L., Eds. Springer, 2018, pp. 135–163.
- Semenova L.R., Rybalko A.E., Zhuravlev V.A. Glaciation stages of the late Pleistocene of the Kola Peninsula and the White Sea. In *Kvarter vo vsem ego mnogoobrazii. Fundamental'nye problemy, itogi izucheniya i osnovnyye napravleniya dal'neyshikh issledovaniy* [Kvarter in all its Diversity. Fundamental Problems, Results of the Study and Main Directions for Further Research]. Apatity, St. Petersburg, 2011, vol. 2, pp. 232–233. (In Russ.).
- Shilova O.S., Zaretskaya N.E., Repkina T.Yu. Holocene deposits of the South-Eastern coast of the Throat of the White Sea: new data from diatom and radiocarbon analysis. *Dokl. Akad. Nauk*, 2019, vol. 488, no. 6, pp. 661–666. (In Russ.).
- Shlykova V.V. Geological structure of the upper part of the sedimentary cover of the White Sea basin. *Extended Abstract of Cand. Sci. (Geol.-Mineral.) Dissertation*. Murmansk: MMBI KSC RAS, 2007. 27 p.
- Shlykova V.V., Tarasov G.A. Peculiarities of the seismoacoustic structure of the Cenozoic deposits of the White Sea. *Dokl. Akad. Nauk*, 2006, vol. 409, no. 4, pp. 518–525. (In Russ.).
- Shvarev S.V., Nikonov A.A. Morphotectonics of the White Sea basin in comparison with the corrected characteristics of historical earthquakes. In *Pozdne- i postglyatsial'naya istoriya Belogo morya: geologiya, tektonika, sedimentatsionnye obstanovki, khronologiya: Mater. vseross. nauch. konf.* [Late and Postglacial History of the White Sea: Geology, Tectonics, Sedimentation Settings, Chronology: Proc. Russian Sci. Conf. (Moscow, September 2018)]. Moscow: Univ. Kniga Publ., 2018, pp. 174–179. (In Russ.).
- Sistema Belogo morya* [System of the White Sea]. Vol. 4: *Protsessy osadkoobrazovaniya, geologiya i istoriya* [Processes of Sedimentation, Geology and History]. Moscow: Nauchnyi Mir Publ., 2017. 1027 p.
- Sobolev V.M. Composition, stratigraphy of the Late Quaternary deposits of the White Sea Throat and the main features of its paleogeography. In *Problemy paleogeografii i stratigrafii pleistotsena* [Problems of Paleogeography and Stratigraphy of the Pleistocene]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2008, pp. 144–156. (In Russ.).
- Sobolev V.M., Aleshinskaya Z.V., Polyakova E.I. New data on the paleogeography of the White Sea in the late Pleistocene-Holocene. In *Korrelyatsiya paleogeograficheskikh sobytii: materik-shel'f-okean* [Correlation of Paleogeographic Events: Mainland – Shelf – Ocean]. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1995, pp. 120–129. (In Russ.).
- Sorokin V.M., Starovoitov A.V., Tokarev M.Yu., Baskakova G.V., Murashka A.P. Integrated geological and geophysical studies of the sedimentary cover of the Velikaya Salma Strait. *Razvedka i Okhrana Nedr*, 2009, no. 2, pp. 47–52. (In Russ.).
- Spiridonov M.A., Devdariani N.A., Kalinin A.V., Kropachev Yu.P., Manuilov S.F., Rybalko A.E., Spiridonova E.A. Geology of the White Sea. *Sovet. Geol.*, 1980, no. 4, pp. 45–55. (In Russ.).
- Starovoitov A.V., Tokarev M.Yu., Zamotina Z.S., Terekhina Ya.E. The role of glacial and lithodynamic factors in the formation of the sedimentary cover of the Velikaya Salma Strait (White Sea). *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser. Geol.*, 2022, no. 1, pp. 62–70. (In Russ.).
- State Geological Map of the Russian Federation: Scale 1: 1000000 (new series)*. Sheet Q-(35) –37 – Kirovsk.

- Explanatory note. St. Petersburg: VSEGEI, 2001. 285 p. (In Russ.).
- Strelkov S.A., Evzerov V.Ya., Koshechkin B.I., Rubinraut G.S., Afanas'ev A.P., Lebedeva R.M., Kagan L.Ya. *Istoriya formirovaniya rel'efa i rykhlykh otlozhenii severo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita* [History of Relief Formation and Loose Deposits in the Northeastern Part of the Baltic Shield]. Grave M.K., Strelkov S.A., Eds. Leningrad: Nauka Publ., 1976. 164 p.
- Subetto D.A., Shevchenko V.P., Ludikova A.V., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V., Lisitsin A.P., Evzerov V.Ya., Van Beek P., Suo M., Subetto G.D. Chronology of the isolation of the lakes of the Solovetsky archipelago and the rate of modern lacustrine sedimentation. *Dokl. Earth Sci.*, 2012, vol. 446, no. 2, pp. 183–190.
- Terekhina Ya.E., Barymova A.A., Isachenko A.I., Kokorin A.I., Kozlovskiy V.V., Mikhaylyukova P.G., Mokievsky V.O., Repkina T.Yu., Rybalko A.E., Tokarev M.Yu., Shabalyn N.V. Geomorphological and habitat mapping of the glaciated shelf (the Velikaya Salma Strait of the Kandalaksha Gulf of the White Sea, Russia). In *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats*. Harris P.T., Baker E.K., Eds. Elsevier, 2020, pp. 655–673.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00039-7>
- Zaretskaya N.E. Holocene history of the river delta. Northern Dvina. *Geomorfologiya*, 2018, no. 1, pp. 3–17. (In Russ.).
- Zaretskaya N.E., Rybalko A.E., Repkina T.Yu., Shilova O.S., Krylov A.V. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): stratigraphy and palaeoenvironments. *Quat. Int.*, 2021, nos. 605–606, pp. 126–141.
<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>
- Zhuravlev V.A., Kuprin V.F., Lukyanova L.I., Paramonova M.S., Peshkova I.N., Rybalko A.E., Semenova L.R., Solonina S.F., Surikov S.N., Chernova I.V., Chuiko M.A., Sharov N.V., Shkarubo S.I., Yakobson K.E. *State Geological Map of the Russian Federation*. Scale 1 : 1000000 (3d generation). Mezenskaya series. Sheet Q–38 – Mezen. Explanatory Note. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory, 2012. 311 p. (In Russ.).
- Zhuravlev V.A., Varlamova A.A., Rybalko A.E. Quaternary deposits of the White Sea and their connection with ancient geological structures. In *Svyaz' poverkhnostnykh struktur zemnoi kory s glubinnymi: mater. XIV mezhdunar. konf.* [Communication of Surface Structures of the Earth's Crust with Deep Ones: Proc. XIV Int. Conf]. Petrozavodsk: KRC RAS Press, 2008, vol. 1, pp. 195–197. (In Russ.).