

doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-217-225



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОРАДИЛОКАЦИОННЫХ И ПАЛЕОЛИМНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ОСТРОВАХ БОЛЬШОЙ СОЛОВЕЦКОЙ И МУКСАЛМА (СОЛОВЕЦКИЙ АРХИПЕЛАГ, БЕЛОЕ МОРЕ) В 2022-2023 ГОДАХ

✉ *Репкина Т.Ю.*^{1,2}, *Орлов А.В.*^{2,3}, *Крехов А.К.*⁴, *Кублицкий Ю.А.*³, *Брылкин В.В.*³,
Вяткин Е.Д.^{3,5}

¹Институт географии РАН, Москва, Россия

²ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

³РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

⁴СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

⁵МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

✉ *t-repkina@yandex.ru*

Георадиолокационные и палеолимнологические исследования выполнены на островах Соловецкого архипелага в 2022-2023 гг. Работы включали георадиолокационное профилирование (георадар ОКО-3, антенны с частотой 50 и 250 МГц), тригонометрическое нивелирование, а также бурение озерно-болотных отложений и отбор кернов на аналитические исследования и радиоуглеродное датирование. Предварительно было проведено геоморфологическое дешифрирование космических снимков, цифровых моделей рельефа и топографических карт. В результате работ получены новые фактические данные о строении ледниковых, флювиогляциальных, морских и озерно-болотных отложений района, подтверждено положение верхней морской границы на высотах 23-25 м н.у.м.

Ключевые слова: *ледниковые и послеледниковые отложения, относительный уровень моря, георадар, палеолимнология, Белое море, Соловецкий архипелаг, позднеледниковье и голоцен*

Соловецкий архипелаг расположен на границе Онежского залива и Бассейна Белого моря. В рельефе островов и прилегающего шельфа прослеживаются гряды различной ориентировки (рис. 1), которые в разные годы относили к краевым образованиям последнего оледенения [*Ekman, Iljin, 1995, Рыбалко и др., 1987, Демидов, 2002, Demidov et.al., 2006, Астафьев и др., 2012а, б*]. Однако интерпретация положения и возраста гряд на разных схемах существенно отличается.

Рельеф и рыхлые отложения архипелага исследуют уже более 200 лет. Первые сведения появились в записках А. Фомина (1797) и были повторены К. Молчановом (1813). В 1829 г. под руководством М.Ф. Рейнеке были созданы описание островов архипелага и первая навигационная карта района. Подробное описание рельефа и рыхлых отложений островов было дано А.А. Иностранцевым (1872 г.). В конце 1920х - начале 1930-х гг. в материалах Соловецкого краеведческого общества были опубликованы работы А.А. Глаголева и И.В. Хеладзе, содержавшие в т.ч. реконструкции положения ледниковых гряд [*Авенариус, 2004*]. Государственная геологическая съемка масштаба 1:200000 была проведена на островах в 1960х, а затем в 1990-х годах [*Зоренко и др., 1999*]. Детальные гелого-геоморфологические исследования с целью поисков строительных материалов были выполнены на нескольких участках в 1980-х гг. [*Мелитицкий и др., 1987*]. В рамках этих работ были поставлены геофизические исследования по вертикальному электроразондированию (ВЭЗ), определена мощность рыхлых отложений (25-170 м), показана блоковая структура кровли коренных пород, разбитых разрывными нарушениями. Различная высота блоков фундамента могла быть одной из причин формирования в районе о. Бол. Соловецкого крупного «ледникового узла» [*Авенариус, 2004*]. К сожалению, в отчете [*Мелитицкий и др., 1987*] не приведены данные о положении профилей. В последующем геофизические работы – серия георадиолокационных

исследования, которые подтвердили и детализировали ход изменения относительного уровня моря (ОУМ). Вместе с тем, положение максимального уровня и хронология позднеледниковой трансгрессии, как и на других берегах Белого моря, по-прежнему требует уточнения.

Целью наших исследований был сбор данных о строении разреза ледниковых и послеледниковых отложений для последующей пространственно-хронологической корреляции поздне- и послеледниковой истории Соловецких островов и прилегающего шельфа. Основное внимание мы уделили получению данных о внутреннем строении гряд различного простирания и пополнению фактических данных об изменении ОУМ. Также была предпринята попытка геофизическими методами установить пространственное положение наиболее высоких блоков фундамента.



Рис. 2. Геоморфологическая схема островов Бол. Соловецкий и Муксалма и фактический материал.

Условные обозначения: *Фактический материал*. Положение скважин, изученных палеолимнологическими методами: 1 - [Субетто и др., 2012, Ludikova et al., 2021], 2-3 - данная работа: 2 - 2022 г., 3 - 2023 г. (желтым шрифтом - название и высота порога стока озера); 4 - положение георадиолокационных профилей (антенны с частотой 50 и 250 МГц; светло зеленым шрифтом - номера профилей, пройденных с помощью антенны 250 МГц). *Элементы строения рельефа*. 5-6 - геоморфологические границы: 5 - типов рельефа, 6 - подтипов рельефа, 7 - положение отдельных линейно-вытянутых форм ледникового и флювиогляциального происхождения. Белыми цифрами показаны типы и подтипы рельефа: 1 - ледниковый, грядовый на высотах более 50 м н.у.м.; 2 - ледниковый и флювиогляциальный холмистый и грядово-холмистый на высотах 23-50 м н.у.м.; 3 - ледниковый и флювиогляциальный, переработанный прибрежно-морскими процессами на высотах менее 23 м: (а) - полого-холмистый и полого-грядовый, (б) - преимущественно пологоволнистый. Картографическая основа - мозаика Google Earth (<https://www.google.ru/intl/ru/earth/>)

Методы исследования включали георадиолокационное профилирование (март 2023 г.), тригонометрическое нивелирование (сентябрь 2022 г., март 2023 г.), и бурение озерно-болотных отложений с отбором кернов на аналитические исследования и радиоуглеродное датирование (сентябрь 2022 г., март 2023 г.). Перед полевыми работами по данным дешифрирования космических снимков, цифровых моделей рельефа ASTER и FABDEM, а также топографических карт была составлена геоморфологическая схема (рис. 2).

Георадиолокационные исследования выполнены в зимний период, в качестве транспортного средства был использован снегоход. Поэтому сеть профилей была заложена, в основном, по дорогам, так, чтобы пересечь вершины и/или подножия наиболее заметных групп гряд, выделенных при геоморфологическом дешифрировании. Георадиолокационный комплекс включал два антенных блока ОКО 3 - с основной несущей частотой экранированной антенны 250 МГц (разрешающая способность 0.3 - 0.1 м) и неэкранированной антенны 50 МГц (разрешающая способность – 1.5-0.5 м). Данные регистрировались блоком обработки ОКО 3. Управление съемкой и запись данных осуществлялись с помощью полевого компьютера. Съемка с помощью антенн с разной частотой проводилась, за редким исключением, по одним и тем же профилям (прямой и обратный ход). Пространственная привязка профилей осуществлялась с помощью GPS приемника Garmin. В ходе работ фиксировались начальные и конечные точки профилей, а также положение характерных точек георадиолокационного разреза. Предварительная обработка радарограмм проведена в ПО GeoScan 32. Значения относительной диэлектрической проницаемости (ϵ) были установлены по анализу гиперболических отражений от точечных неоднородностей, а также по табличным значениям [Старовойтов, 2008]. Топография и пространственное положение георадиолокационных профилей введены по ЦМР ASTER. Использование антенных блоков с разной частотой позволило получить информацию о внутреннем строении четвертичных отложений до 4-10 метров при использовании антенного блока с частотой 250 МГц, и до 10-20 метров при использовании антенного блока с частотой 50 МГц. Результаты геологической интерпретации радарограмм заверены данными бурения, а также несколькими разрезами (см. статьи О.П. Корсаковой и А.В. Вашкова в этом сборнике).

Бурение озерно-болотных отложений осуществлялось с помощью русского торфяного бура (диаметр 5 см, длина керна 1 м). Для всех разрезов выполнено литологическое описание, отбор кернов на аналитические исследования и образцов отложений на радиоуглеродный анализ. Литологические колонки были получены из трех озер Моренного (урез 25.7 м н.у.м., глубина воды 6.6 м) и Рыбка (урез 24 м н.у.м., глубина воды 8 м), расположенных вблизи верхней морской границы, а также озер Варваринского (урез 8 м н.у.м., глубина воды 7.5 м). Также были пробурены и отобраны на аналитические исследования и датирование колонки из отложений из болот, расположенных на высотах 15.5 (скв. 2), 10.5 (скв. 104) и 0.9 м н.у.м. (скв. 103). Высотные отметки урезов озер и устьев скважин в болотах были получены путем тригонометрического нивелирования от известных реперов. Нивелирование выполнено с помощью DGPS PrinCe i50 (комплект база и ровер) с плановой и высотной точностью 3 и 5 мм соответственно.

Результаты исследования. *Рельеф островов Бол. Соловецкий и Муксалама.* В результате геоморфологического дешифрирования были выделены три типа рельефа (рис. 2): ледниковый грядовый рельеф (выше 50 м н.у.м.); ледниковый и флювиогляциальный холмистый и грядово-холмистый (23-50 м н.у.м.); ледниковый и флювиогляциальный, переработанный прибрежно-морскими процессами (менее 23 м н.у.м.). Последний, расположенный ниже верхней морской границы, разделен на два подтипа по степени переработки (сглаживания) ледниковой морфоскульптуры прибрежно-морскими процессами. Положительные формы ледникового и флювиогляциального происхождения

уверенно прослеживаются до береговой линии острова, что позволит в дальнейшем выполнить пространственную корреляцию ледниковых образований суши и шельфа.

Внутреннее строение четвертичных отложений на георадарных профилях. В целях выявления положения кровли коренных пород была использована антенна с несущей частотой 50 МГц. Однако глубинность съемки на всех профилях оказалась меньше мощности четвертичных отложений.

Использование антенн с разной несущей частотой позволило получить общую и более детальную информацию о внутреннем строении четвертичных отложений. На радораграммах, по характеру волновой картины, отчетливо выделяются георадарные комплексы, которые могут быть связаны с: морскими, озерно-болотными, флювиогляциальными и ледниковыми отложениями. Для комплексов, ассоциируемых с морскими отложениями характерна горизонтальная слоистость, преимущественно песчаный состав (ϵ - 5-9), практически повсеместное присутствие неоднородностей меньше длины волны в среде, что может быть связано с обломочным материалом. От нижележащих отложений ледникового комплекса их, как правило, отделяет отчетливая эрозионная граница, которая уверенно прослеживается на радораграммах до высот 23-25 м н.у.м. *Озерно-болотные отложения* ассоциируются с толщами с субгоризонтальной слоистостью и большими значениями относительной диэлектрической проницаемости (ϵ - 40-60). В ряде случаев в озерных отложениях удалось выделить литологические разности, что было заверено бурением. *Отложения ледникового комплекса* представлены на радораграммах несколькими типами, а их интерпретация не всегда может быть проведена однозначно. По отсутствию отражений от нижележащих слоев и низким уровням сигнала уверенно распознается кровля ледниковых отложений глинистого состава. На некоторых участках изменение характера волновой картины по простиранию позволяет предположить, что состав ледниковых отложений становится более песчаным. Однако интерпретировать генезис таких толщ без заверки геологическими данными представляется не корректным. Наклонно или горизонтально слоистые отложения со значениями ϵ - 9-18, залегающие ниже эрозионного контакта с морскими, были интерпретированы как флювиогляциальные. Они выполняют понижения в кровле морены (например, ложбина на о. Муксалма; профиль 032, антенна 50 МГц). В ряде случаев в ложбинах видны несколько горизонтов флювиогляциальных отложений. На юге о. Бол. Соловецкого, в поле распространения песчаных гряд с крупными валунами (по составу отложений они могут быть интерпретированы как озы), к понижениям кровли морены приурочена толща песчаных отложений со сложным характером слоистости, которая позволяет выделить не менее 3х этапов заполнения ложбины. В целом, основную сложность интерпретации разрезов создает похожий литологический состав отложений разного генезиса и отсутствие бурения или разрезов исследуемых толщ.

Строение озерно-болотных отложений по результатам ручного бурения. В кернах отложений болот (скв. 103, 104, 2), расположенных ниже морской границы, выделенной [Никишин, 1984], получены литологические колонки, характеризующие постепенную смену морских обстановок накопления осадков (песок, алеврит) субаэральными (торф). В скв. 2 (15.5 м н.у.м.) в торфе зафиксированы два тонких (3-4 см) прослоя песков с гравием, что может быть признаком штормовых заплесков в уже изолированный от моря водоем. В донных отложениях оз. Варваринского (8 м н.у.м.) в низах колонки (11.4-13.5 м) вскрыт глинистый алеврит (11.4-13.5 м), на которой залегают аномально мощная толща обводненной гиттии (7.5-11.4 м). Причины быстрого накопления озерных осадков будут установлены по данным геохимического анализа. В колонке отложений Рыбка (урез 24 м н.у.м.), расположенного по данным [Никишин, 1984] в поле развития отложений позднеледниковой трансгрессии, в низах разреза (12.05-11.4 м) серый глинистый алеврит замещается темно-оливковой полосчатой опесчаненной гиттией, что может быть признаком смены морских условий накопления осадков пресноводными. Выше предполагаемой верхней морской границы, в озере Моренном (урез 25.7 м н.у.м.),

расположенном между моренными холмами, в низах разреза (11.05-10.62) вскрыт контакт мелко-среднезернистого песка и переслаивания торфа и гиттии. По литологическим признакам озеро не заполнялось морскими водами. Таким образом, получен материал для определения положения верхней границы позднеледниковой трансгрессии и времени завершения.

Заключение. Таким образом, в результате полевых исследований получены новые данные о строении разреза ледниковых и послеледниковых отложений о. Бол. Соловецкий и Муксалма. По данным георадиолокационного профилирования выделены четыре георадиолокационных комплекса. (1) Ледниковые отложения преимущественно суглинистого состава; они слагают гряды разного простирания на севере о. Бол. Соловецкого и на о. Муксалама. (2) Слоистые ледниковые или водно-ледниковые отложения преимущественно песчаного состава, иногда с высоким содержанием обломочного материала. Генетическую принадлежность таких отложений без заверки геологическими данными установить невозможно. (3) Слоистые водно-ледниковые отложения; они заполняют понижения в кровле морены или «врезы», а также образуют невысокие гряды (озы) на юге о. Бол. Соловецкого. (4) Голоценовые отложения: морские пески, преимущественно горизонтально-слоистые, с различным количеством обломочного материала и озеро-болотные слоистые и неявно-слоистые толщи.

По данным палеолимнологических и георадиолокационных исследований подтверждено положение верхней границы позднеледниковой трансгрессии на высоте $\approx 23-25$ м н.у.м.

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-17-00081, палеолимнологические исследования частично соответствуют теме ГЗ РГПУ им. А.И. Герцена № 2023-2025 VRFY-2023-0010.

ЛИТЕРАТУРА:

Авенариус И.Г. Морфоструктурный анализ при изучении культурного и природного наследия Западно-Арктического региона России. М.: Paulsen. 2008. 187 с.

Астафьев Б.Ю., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q-37–Архангельск. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012 а. 302 с.

Астафьев Б.Ю., Богданов Ю.Б., Воинова О.А., и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q-(35), 36 – Апатиты. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012 б. 436 с.

Демидов И.Н. История развития ландшафтного заказника «Кузова» в Белом море в поздне- и послеледниковье // Культурное и природное наследие островов Белого моря. Петрозаводск, 2002. С. 10-17.

Зоренко Т.Н., Черемхина Г.М., Корепанов В.С. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Онежская, листы Q-37- XXV, XXVI. / Ред. Ю.Г. Старицкий. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. 51 с.

Кузнецов Д.Д., Лудикова А.В., Субетто Д.А. и др. Хроно- и литостратиграфия озерных отложений острова Анзер (Соловецкие острова) в контексте послеледниковой истории Белого моря. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022;86(6):914–932. <https://doi.org/10.31857/S2587556622060085>

Леонтьев П.А., Субетто Д.А., Репкина Т.Ю. и др. Реконструкция относительного перемещения уровня моря в голоцене на северо-западе Онежского полуострова (губа Конюхова, Белое море) на основе палеолимнологических исследований // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 6. С. 933–945.

Метлицкий А.В., Сухопаров Л.Д., Тарасов В.А. и др. Отчет о проведении поисков песчано-гравийного материала и песка на Соловецких островах в Приморском районе

Архангельской области (Соловецкий отряд, 1984–87 гг.). Архангельск: Архангельское производственно-геологическое объединение “Архангельскгеология”, 1987. 339 с.

Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 235 с.

Никифоров С.Л., Кошель С.М., Фроль В.В. О методах построения цифровых моделей рельефа дна (на примере Белого моря) // Океанология. 2015. Т. 55, № 2. С. 326–336.

Никишин Н.А. Особенности развития Соловецких островов в голоцене // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1984. № 5. С. 55–57.

Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Лисицын А.П. и др. Современные данные по биостратиграфии и геохронологии донных осадков Белого моря // Доклады РАН. 2014. Т. 454. № 4. С. 467–473.

Репкина Т.Ю., Зарецкая Н.Е., Субетто Д.А. и др. Морфодинамика берегов северо-запада Онежского полуострова Белого моря в голоцене. Губа Конюхова // Тр. КарНЦ РАН. 2017. № 8. С. 1–19.

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 // Известия РАН. Серия Географическая. 2020. Том 84. № 6, С. 888–904; DOI: 10.31857/S2587556620060096

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.

Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие. М.: МГУ. 2008. 192 с.

Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В. и др. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // Доклады РАН. 2012. Т. 446. № 2. С. 183–190.

Шварцман Ю.Г., Игловский С.А., Горшков Д.П. Применение метода георадиолокации для выявления гидрогеологических особенностей на объектах природного и культурного наследия Европейского Севера России // Разведка и охрана недр. 2014. № 6. С. 35–39.

Demidov I., Houmark-Nielsen M., Kjør K., Larsen E. The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: Ice flow patterns and decay dynamics // Boreas. 2006. No. 4. pp. 425–443.

Ekman I., Iljin V. Deglaciations, the Younger Dryas End Moraines and their Correlation in Karelian A.S.S.R. and adjacent Areas // Eastern Fennoscandian Younger Dryas End Moraines. Field Conferencion, 1991. P. 73–101

Ludikova A.V., Subetto D.A., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V. 2021. 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. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.07.007>

PRELIMINARY RESULTS OF GPR AND PALEOLIMNOLOGICAL STUDIES ON THE BOLSHOY SOLOVETSKY AND MUKSALMA ISLANDS (SOLOVETSKY ARCHIPELAGO, WHITE SEA) IN 2022-2023

Repkina T.Yu.^{1,2}, Orlov A.V.^{2,3}, Krekhov A.K.⁴, Kublitskiy Yu.A.³, Brylkin V.V.³, Vyatkin E.D.^{3,5}

¹Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²VNIIOkeangeologia, St. Petersburg, Russia

³Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

⁴Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

⁵Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Ground penetrating radar (GPR) and paleolimnological studies were carried out on the Solovetsky archipelago in 2022–2023. The work included GPR profiling (GPR OKO-3, antennas with a frequency of 50 and 250 MHz), trigonometric leveling, as well as drilling of lake-bogs sediments and core selection for analytical studies and radiocarbon dating. Previously, geomorphological interpretation of satellite images, digital elevation models and topographic maps was carried out. As a result of the work, new factual data were obtained on the structure of glacial, fluvio-glacial, marine and lake-marsh sediments of the region. The position of the upper boundary of the late glacial transgression was confirmed at altitudes of 23–25 m above sea level.

Keywords: *glacial and post-glacial sediments, relative sea level, GPR, paleolimnology, White Sea, Solovetsky Archipelago, Late Glacial and Holocene*

REFERENCES

- Avenarius I.G.* Morphostructural analysis in the study of the cultural and natural heritage of the Western Arctic region of Russia. M.: Paulsen. 2008. 187 p.
- Astafiev B.Yu., Bogdanov Yu.B., Voinova O.A., et al.* State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Baltic series. Sheet Q-37–Arkhangelsk. Explanatory letter. SPb.: VSEGEI Cartographic Factory, 2012 a. 302 pp.
- Astafiev B.Yu., Bogdanov Yu.B., Voinova O.A., et al.* State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Baltic series. Sheet Q-(35), 36 – Apatity. Explanatory letter. SPb.: VSEGEI Cartographic Factory, 2012 b. 436 pp.
- Demidov I.N.* History of the development of the Kuzova landscape reserve in the White Sea in the late and post-glacial periods // Cultural and natural heritage of the White Sea islands. Petrozavodsk, 2002. pp. 10–17.
- Zorenko T.N., Cheremkhina G.M., Korepanov V.S. and others.* State geological map of the Russian Federation, scale 1:200,000. Second edition. Onega series, sheets Q-37-XXV, XXVI. / Ed. SOUTH. Staritsky. St. Petersburg: VSEGEI, 1999. 51 p.
- Kuznetsov D.D., Ludikova A.V., Subetto D.A. and others.* Chrono- and lithostratigraphy of lake sediments of Anzer Island (Solovetsky Islands) in the context of the post-glacial history of the White Sea. News of the Russian Academy of Sciences. Geographical series. 2022;86(6):914–932. <https://doi.org/10.31857/S2587556622060085>
- Leontiev P.A., Subetto D.A., Repkina T.Yu. et al.* Reconstruction of the relative movement of sea level in the Holocene in the north-west of the Onega Peninsula (Konyukhov Bay, White Sea) based on paleolimnological studies // Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series. 2022. T. 86, no. 6. pp. 933–945.
- Metlitsky A.V., Sukhoparov L.D., Tarasov V.A. and others.* Report on the search for sand and gravel material and sand on the Solovetsky Islands in the Primorsky district of the Arkhangelsk region (Solovetsky detachment, 1984–87). Arkhangelsk: Arkhangelsk production and geological association “Arkhangelskgeology”, 1987. 339 p.
- Nevesky E.N., Medvedev V.S., Kalinenko V.V.* White Sea. Sedimentogenesis and history of development in the Holocene. M.: Nauka, 1977. 235 p.
- Nikiforov S.L., Koshel S.M., Frol V.V.* On methods for constructing digital models of bottom relief (using the example of the White Sea) // Oceanology. 2015. T. 55, No. 2. pp. 326–336.
- Nikishin N.A.* Features of the development of the Solovetsky Islands in the Holocene // Bulletin of Moscow State University. Ser. 5. Geography. 1984. No. 5. P. 55–57.
- Polyakova E.I., Novichkova E.A., Lisitsyn A.P. and others.* Modern data on biostratigraphy and geochronology of bottom sediments of the White Sea // Reports of the Russian Academy of Sciences. 2014. T. 454. No. 4. pp. 467–473.
- Repkina T.Yu., Zaretskaya N.E., Subetto D.A. et al.* Morphodynamics of the shores of the north-west of the Onega Peninsula of the White Sea in the Holocene. Guba Konyukhova // Tr. KarRC RAS. 2017. No. 8. pp. 1–19.
- 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 // Izvestia RAS. Geographical series. 2020. Vol. 84. No. 6, pp. 888–904; DOI: 10.31857/S2587556620060096
- Rybalko A.E., Spiridonov M.A., Spiridonova E.A., Moskalenko P.E.* Quaternary sediments of the Onega Bay and the main features of its paleogeography in the Pleistocene-Holocene // Complex marine geological and geophysical studies of the internal seas of the glacial shelf. L.: VSEGEI, 1987. pp. 38–52.

Starovoitov A.V. Interpretation of ground penetrating radar data. Tutorial. M.: Moscow State University. 2008. 192 p.

Subetto D.A., Shevchenko V.P., Ludikova A.V. and others. Chronology of isolation of lakes of the Solovetsky archipelago and the rate of modern lake sedimentation // Reports of the Russian Academy of Sciences. 2012. T. 446. No. 2. P. 183–190.

Shvartsman Yu.G., Iglovsky S.A., Gorshkov D.P. Application of the georadar method to identify hydrogeological features at natural and cultural heritage sites of the European North of Russia // Exploration and protection of subsurface resources. 2014. No. 6. P. 35-39.

Demidov I., Houmark-Nielsen M., Kjær K., Larsen E. The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: Ice flow patterns and decay dynamics // Boreas. 2006. No. 4. pp. 425–443.

Ekman I., Iljin V. Deglaciations, the Younger Dryas End Moraines and their Correlation in Karelian A.S.S.R. and adjacent Areas // Eastern Fennoscandian Younger Dryas End Moraines. Field Conference, 1991, pp. 73–101

Ludikova A.V., Subetto D.A., Kuznetsov D.D., Sapelko T.V. 2021. 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 implications for paleoreconstructions. Quat. Int. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2021.07.007>