ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2022, том 86, № 6, с. 946–957

ИСТОРИЯ БЕЛОГО МОРЯ В ПАЛЕОАРХИВАХ ОЗЕР И БОЛОТ ЕГО ПОБЕРЕЖЬЯ

УДК 581:526(470.22)

СУХИЕ ПОКРОВНЫЕ ТОРФЯНИКИ ОСТРОВОВ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

© 2022 г. С. А. Кутенков[a], *, М. Н. Кожин[b, c], **, Е. О. Головина[d]

[a]*Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия*

[b]*Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия*

[c]*Кандалакшский государственный природный заповедник, Кандалакша, Россия*

[d]*Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

**e-mail: effort@krc.karelia.ru*

***e-mail: m.kozhin@ksc.ru*

Поступила в редакцию 28.03.2022 г.
После доработки 08.06.2022 г.
Принята к публикации 18.08.2022 г.

Исследованы сухие покровные торфяники на 11 островах Кандалакшского залива Белого моря. Торфяники занимают выпуклые центральные части островов или их отдельных мысов и пологие склоны крутизной до 5°, следуя за минеральной поверхностью острова. Их современная растительность представлена ксероморфными вороничниками. Торфяники развиваются непосредственно на скальных поверхностях, а также на перекрывающих их песке и гальке. Заторфовывание поверхностей островов происходит по мере их выхода за пределы волноприбойной зоны моря вследствие поднятия суши и продолжается в настоящее время. Толщина торфяной залежи, в среднем, составляет около 30 см, максимально достигая 71 см. Ботанический анализ торфа показал, что отложение торфа начинается как еще на стадии приморских лугов, так и сразу со стадии вороничников. Основными торфообразователями являются вороника, голубика, морошка, зеленые мхи и другие растения, представленные в современных ксероморфных сообществах. Серия радиоуглеродных датировок придонных слоев торфа показала, что скорость вертикального поднятия поверхности островов относительно равномерна и оценивается в 4 (до 5) мм/год, что соответствует скорости движения берегов залива. Измеренный радиоуглеродный возраст торфяников составляет от 425 до 1840 лет, расчетный – до 2760 лет. Скорость вертикального прироста торфяной залежи относительно постоянна все время существования торфяников и оценивается, в среднем, в 0.14–0.15 мм/год. Работа опровергает сделанное ранее предположение о реликтовой природе торфяников.

Ключевые слова: Белое море, вороничники, поднятие суши, торф, скорость торфонакопления, ботанический состав

DOI: 10.31857/S2587556622060073

ВВЕДЕНИЕ

Характерной чертой побережья и островов Белого моря являются вороничники – безлесные тундроподобные сообщества с доминированием вороники (*Empetrum hermaphroditum*) (Бреслина, 1971; Вехов, 1969; Головина, Баранова, 2006; Кравченко, 2007; Kozhin et al., 2019). Вороничники особенно характерны для безлесных островов (луд), где занимают практически всю площадь, на лесистых островах вороничники приурочены к прибрежным участкам, открытым для сильных морских ветров (Головина, Баранова, 2006). На островах вороничники зачастую сформированы на сухих торфяных залежах мощностью 30–50 см, а иногда и более (Kutenkov et al., 2018). Такие вороничные торфяники могут повторять выпуклую форму островов, полностью покрывая центральные части и пологие склоны, спускаясь практически до границы волнового воздействия. Следуя за минеральной поверхностью острова, покрывая сплошь как отрицательные, так и положительные формы рельефа, торфяники напоминают болота-плащи (blanket bogs), развивающиеся в океанических условиях (Moen et al., 2017; Moore et al., 1984). При этом залежи сухие, до минерального дна в них нет свободной влаги. Их толща разбита канавообразными трещинами на полигональные блоки площадью в несколько метров.

История и особенности формирования, скорость торфонакопления, связь развития сухих покровных торфяников островов с морской регрессией остаются на настоящий момент практиче-

ски не изученными (Кутенков, Стойкина, 2010; Kutenkov et al., 2018). Задачами настоящей работы являются выявление характера и особенностей залегания сухих покровных торфяников на островах Кандалакшского залива Белого моря, оценка возможности их использования в качестве палеоархивов, определение материнских сообществ и путей формирования торфяных залежей, определение возраста начала торфоотложения и его возможную связь с регрессией моря, выявление скорости и динамики торфонакопления.

ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований. Кандалакшский залив Белого моря расположен в северо-западной части европейской России за Северным полярным кругом. В его пределах встречается более тысячи мелких лесных островов и безлесных луд. В их основании лежат обнажения кристаллического фундамента древней Восточно-Европейской (Русской) платформы – Балтийского щита. Современный рельеф островов и материкового побережья Кандалакшского залива претерпел длительную и сложную историю геологического развития, хотя основные черты он приобрел в неоген-четвертичное время. Здесь на дневной поверхности обнажены одни из древнейших докембрийских пород на Земле (Ранний ..., 2005). Особую роль в формировании современного рельефа сыграли покровные оледенения четвертичного периода. В поздневалдайское время (~23000–15000 л. н.) эта территория была покрыта ледником мощностью несколько тысяч метров; позже ледовый покров начал таять и отступать, освобождая прогибавшуюся под тяжестью колоссальных масс поверхность земли. Последние 10000 лет на этой территории отчетливо проявляется процесс изостатического воздымания (Колька и др., 2005; Kolka et al., 1998). Берега островов и материкового побережья Кандалакшского залива преимущественно скалистые, нередко состоят из окатанных валунов, реже песчаные и глинистые.

Растительный покров на островах формируется в суровых условиях заполярного климата. Для Кандалакшского залива характерно низкое стояние солнца. Летом наблюдаются светлые полярные ночи. Приход солнечной радиации за год составляет 55–72 ккал/см^2 год. Средняя температура июля колеблется в пределах 15°С. Среднее количество осадков за год – 360–500 мм (Агроклиматический ..., 1961; Белое ..., 2007). Микроклиматические условия формирования растительного покрова в Кандалакшском заливе отличаются значительным разнообразием. На островах в открытом море амплитуда значений температуры значительно меньше, что прослеживается как в их годовом, так и суточном ходе. Это характеризует климат как более мягкий. Обратная ситуация наблюдается с ветром – на открытых островах часто дует очень сильный ветер, о чем свидетельствует отсутствие крупных деревьев и широкое распространение стланиковых или флаговых форм ели (*Picea* × *fennica*), сосны (*Pinus sylvestris*) и березы (*Betula subarctica*). Сильный ветер, часто со снегом, градом или фирном, способствует гибели почек на ветвях деревьев и кустарников. На островах, располагающихся в защищенных от сильных ветров местах, локальные климатические условия приближаются к материковым. Для них характерен типичный для прибрежных участков ход значений температуры, часто с более холодной зимой и более теплым летом.

Территория исследования располагается в подзоне северной тайги, которая относится к восточно-скандинавскому (кольско-карельскому) варианту (Сафронова и др., 1999). Для нее характерно преобладание еловых и сосновых лесов, в травяно-кустарничковом ярусе которых значительное участие принимают вересковые кустарнички, в том числе вороника. На островах, в защищенных от сильных ветров губах и внутри архипелагов широко распространены елово-сосновые черничные, чернично-брусничные зеленомошные леса, близкие к зональным сообществам. В травяно-кустарничковом ярусе обычны черника (*Vaccinium myrtillus*), брусника (*V. vitis-idaea*), вороника, багульник (*Ledum palustre*), линнея (*Linnea borealis*) и др., на дренированных участках встречается *Arctostaphyllos uva-ursi*. Среди мхов доминируют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum* spp., *Polytrichum commune*. На островах в целом или их частях, подверженных сильному ветровому воздействию, растительный покров в значительной степени отличается от зональных сообществ. Для них характерны особые тундрообразные растительные сообщества – вороничники.

Методы исследований. Полевые работы проведены в июле 2017 г. на 11 островах в разных частях Кандалакшского залива Белого моря (рис. 1). Три острова (Южный Заяцкий, Молочница, Песчанка) пройдены нивелировочными профилями с серией разрезов и зондировкой глубины торфяной залежи. Зондировка велась с непостоянным шагом, как правило, в пределах 1–2 м с учетом неровностей поверхности торфа, средний шаг составил 1.8 м. Всего выполнено 264 точки зондировки. На остальных островах заложены единичные разрезы, также с высотной геодезической привязкой. Нивелировка поверхности залежи проведена с использованием оптического нивелира TOPCON AT-F6. Привязка высот осуществлялась к ближайшему реперу государственной геодезической сети, при его отсутствии на острове – непосредственно к уровню моря. Всего с целью изучения ботанического состава заложено 30 торфяных разрезов, отобрано 185 образцов торфа. Для 8 образцов проведено радиоуглеродное датирование. Кроме

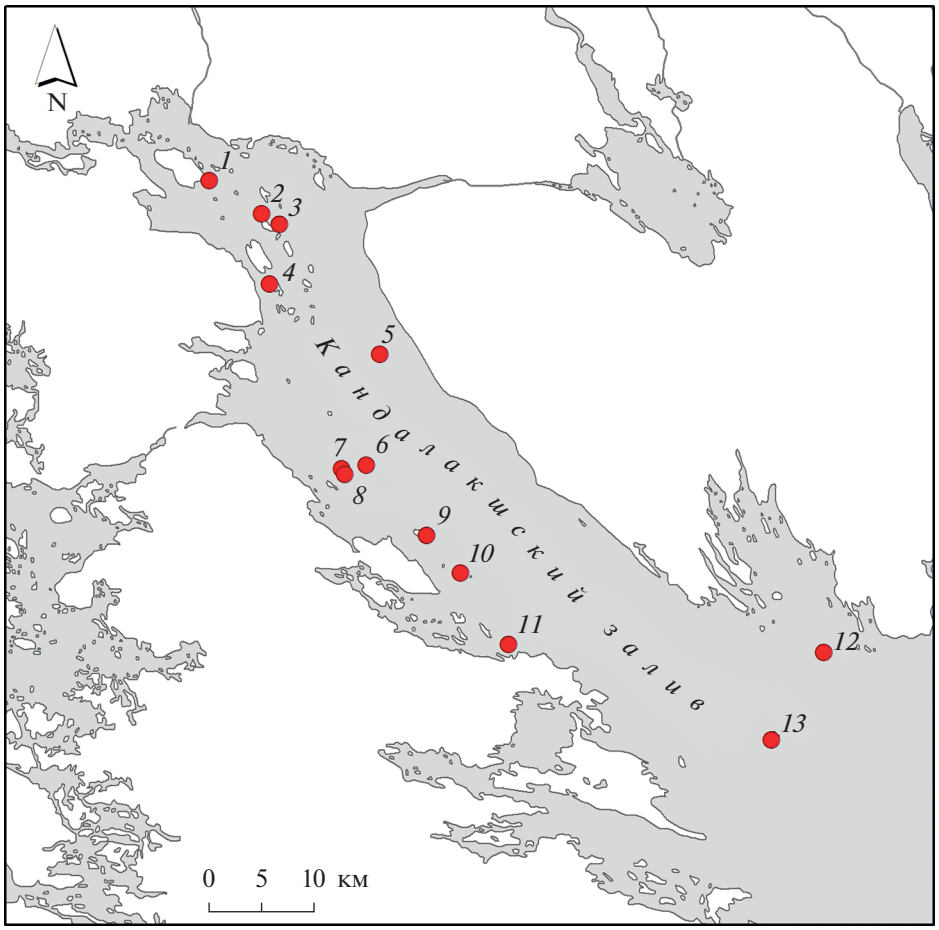

Рис. 1. Район исследования: Кандалакшский залив Белого моря.
Острова: *1* – Сенная луда, *2* – луда Первая Афанаска, *3* – Лодейный, *4* – Первая Поперечная луда, *5* – Смородиновая Кибринская луда; *6* – Песчанка, *7* – Северный Заяцкий (Горбуша), *8* – Южный Заяцкий (Чаячья луда), *9* – Вачев, *10* – Кивреиха, *11* – Молочница, *12* – II Столбовая луда, *13* – Большая Средняя луда.

того, в анализе использованы ранее опубликованные данные (Kutenkov et al., 2018) по двум островам залива, расположенным восточнее (Большая Средняя луда и II Столбовая луда). Ботанический анализ торфа и степени его разложения выполнен Н.В. Стойкиной микроскопическим методом (с точностью до 5%) в лаборатории болотных экосистем Института биологии КарНЦ РАН. Радиоуглеродное датирование образцов торфа выполнено в лаборатории Геологического института РАН (г. Москва) с применением традиционного сцинтилляционного метода. Калибровка радиоуглеродных дат проведена в соответствие со шкалой IntCal20 (Reimer et al., 2020) в программе OxCal 4.4 (Bronk Ramsey, 2009). Для характеристики современного растительного покрова торфяников выполнено 36 геоботанических описаний вороничников на обследованных 11 островах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На наиболее крупных, покрытых лесом, островах Кандалакшского залива вороничные торфяники встречаются на отдельных мысах (Вачев, Лодейный) или склонах (Кивреиха). Другие острова полностью безлесные или с редкими деревьями, почти полностью заняты вороничниками: Сеннуха, Песчанка, луда Первая Афанаска, Первая Поперечная луда, Смородиновая Кибринская луда, Северный и Южный Заяцкие (рис. 2). На о. Молочнице сомкнутый древостой развился по существовавшему ранее торфянику, северная часть которого по-прежнему остается открытой. Торфяники покрывают относительно плоские поверхности с наклоном до 5°, следуя за неровностями минерального основания (рис. 3). Иногда поверхность торфа прорезается фрагментами скал и крупными валунами. Торфяники зачастую имеют необычную сетчатую структуру поверхности – выпуклые торфяные блоки полигональной формы, разделенные узкими трещинами, глубо-

Рис. 2. Обследованные торфяники: (а) о. Южный Заяцкий; (б) верхнее плато о. Южный Заяцкий; (в) о. Молочница; (г) о. Первая Афанаска; (д) о. Кивреиха, северный склон; (е) разрез на о. Первая Афанаска; (ж) разрез на о. Смородиновая Кибринская луда; (з) разрез на о. Кивреиха (длина линейки на фото – 50 см).

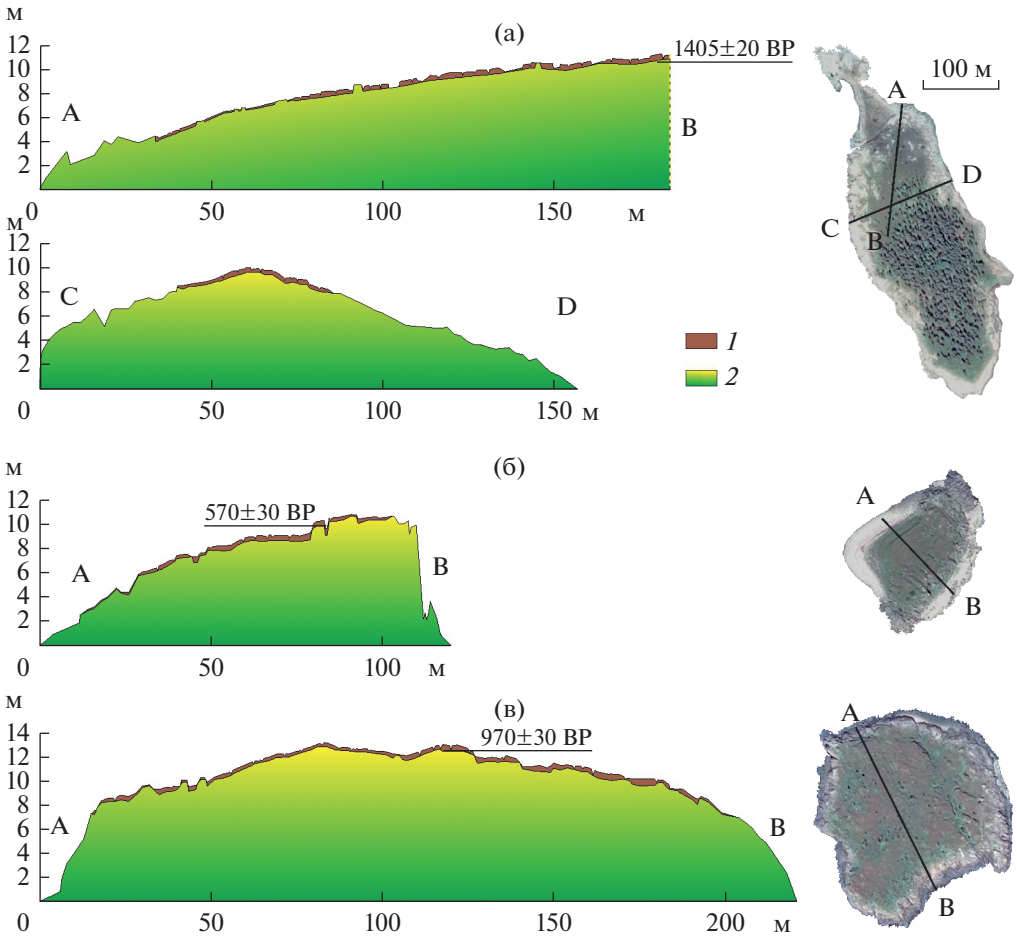

Рис. 3. Профили торфяников на островах Молочница (а), Песчанка (б), Южный Заяцкий (в).
1 – торф, *2* – минеральное основание.

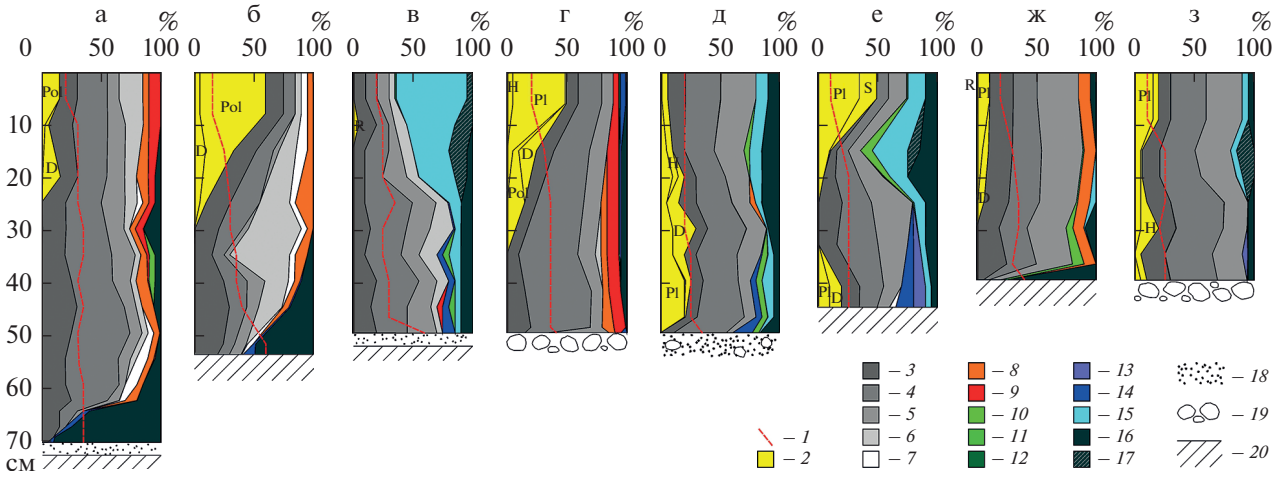

Рис. 4. Ботанический состав торфа с островов: а – Северный Заяцкий, б – Кивреиха, в – Южный Заяцкий, г – Молочница, д – Первая Поперечная луда, е – луда Первая Афанаска, ж – Песчанка, з – Смородиновая Кибринская луда.
1 – степень разложения (%); *2–17* – остатки растений: *2* – мхи (D – *Dicranum* sp., H – *Hylocomium splendens*, Pl – *Pleurozium schreberii*, Pol – *Polytrichum* sp., R – *Rhytidium rugosum*, S – *Sanionia uncinata*), *3* – *Ericales* (неопределяемые), *4* – *Empetrum*, *5* – *Vaccinium*, *6* – *Arctous*, *7* – *Ledum*, *8* – *Rubus chamaemorus*, *9* – *Chamaepericlymenum* (*Cornus*), *10* – *Juniperus*, *11* – *Pinus*, *12* – *Picea*, *13* – *Salix*, *14* – *Betula*, *15* – *Poaceae*, *16* – травы (неопределяемые), *17* – *Chamaenerion angustifolium*; *18–19* – минеральное основание: *18* – песок, *19* – галька, *20* – скала.

ко, иногда до основания, прорезающими торфяную залежь. Размеры блоков составляют 4–25 м^2. Торф относительно сухой, средней мощностью 33 ± 10.3 см, максимальной — до 71 см. Торф залегает как непосредственно на скальном основании, так и на перекрывающих его песке и гальке.

Растительность. Современная растительность торфяников представлена кустарничковыми сообществами с господством вороники. Здесь так же постоянно встречаются голубика (*Vaccinium uliginosum)* и брусника.

В районе исследования встречается несколько типов этих сообществ. Для островов, расположенных ближе к вершине залива, вблизи от материкового берега и/или в окружении других островов, характерны зеленомошно-вороничные сообщества. Их основная отличительная черта – хорошо развитый (проективное покрытие 50–80%) моховой ярус, состоящий преимущественно из *Pleurozium schreberi* и других лесных мхов: *Hylocomium splendens*, *Dicranum polysetum*, *D. scoparium*, *Ptilium crista-castrensis*, *Rhytidiadelphus triquetrus* и *Sanionia uncinata*. С низким проективным покрытием отмечаются типичные для всех кустарничковых сообществ исследуемых торфяников *Dicranum elongatum* и *Ptilidium ciliare*. Проективное покрытие лишайников (*Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *Cetraria islandica*, реже *Cladonia stellaris*, *Flavocetraria cucullata* и другие) редко превышает 1%. Еще одна особенность этих сообществ – участие относительно большого числа видов трав. Среди них – виды приморских лугов (*Dianthus superbus*, *Leymus arenarius*, *Lathyrus aleuticus*, *Achillea apiculata*, *Stellaria graminea*), лесные (*Luzula pilosa*, *Solidago lapponica*, *Avenella flexuosa*) и растения с широкой экологической амплитудой (*Festuca ovina*, *Chamaenerion angustifolium*, *Campanula rotundifolia*, *Chamaepericlymenum suecicum*). Из кустарников, как и в других типах рассматриваемых сообществ, постоянен можжевельник (*Juniperus sibirica)*. Спорадически произрастают древесные виды, чаще прочих встречается сосна, реже – ель, береза и осина (*Populus tremula*).

Следующий тип – лишайниково-арктоусово-вороничные сообщества, характерные для торфяников островов, расположенных на удалении от материка и крупных островов, в условиях открытого моря. Они занимают наиболее обдуваемые и, соответственно, малоснежные местоположения – вершины скальных куполов, выступающих в море скальных мысов и т.п. С проективным покрытием 5–20% в них появляется арктоус (*Arctous alpina*), иногда багульник (до 5%), постоянна (до 10%) морошка (*Rubus chamaemorus*). По сравнению с вышеописанным типом, число и обилие трав заметно ниже. В мохово-лишайниковом ярусе господствуют лишайники, их общее проективное покрытие 15–30%. Наряду с широко распространенными *Cladonia arbuscula*, *C. rangiferina*, *Cetraria islandica* в состав доминантов этого яруса входит типичный хионофобный вид *Flavocetraria nivalis*, постоянны множество других видов, включая характерные для оголенного торфа *Platismatia glauca* и *Hypogymnia physodes*. Проективное покрытие мхов незначительно. Из числа кустарников иногда встречается стланик *Juniperus sibirica*, из деревьев – низкорослая *Pinus sylvetris*. В тех же условиях встречаются близкие ценозы с проективным покрытием багульника до 25–30%, формирующем свой собственный, более высокорослый, подъярус.

Еще один тип – морошково-вороничные сообщества также более характерны для островов, находящихся в условиях относительно открытого моря. Они занимают как вершинные, так и склоновые местоположения. В травяно-кустарничковом ярусе ярко выражено господство вороники, чье проективное покрытие составляет около 70%, проективное покрытие морошки – 10–20%. Прочие сосудистые растения (за исключением брусники и голубики) представлены единичными особями, и видовой состав их небогат (*Festuca ovina*, *Dianthus superbus*, *Trientalis europaea*, *Linnaea borealis* и некоторые другие виды). Проективное покрытие мохово-лишайникового яруса не превышает 10%, обычно ниже. В нем довольно много кустистых лишайников (*Cladonia*, *Cetraria islandica*, *Peltigera* spp. и др.) в том числе хионофобных видов (*Flavocetraria nivalis*, *Bryocaulon divergens*, *Sphaerophorus globosus*). Мхов немного, из них обычны *Pleurozium schreberi*, *Sanionia uncinata*, *Dicranum elongatum* и *Ptilidium ciliare*.

Ботанический состав торфа. Торфяная залежь в большинстве случаев (20 из 30 разрезов) достаточно однообразна по составу на всю глубину и состоит целиком из кустарничкового торфа (рис. 4). В остальных случаях под кустарничковым торфом имеется придонный слой травяно-кустарничкового торфа толщиной 1–3 см, реже до 10 см. Особенностью всех торфов является полное отсутствие гидрофильных болотных видов трав и мхов.

Кустарничковый торф. Степень разложения 25–35%, приповерхностных слоев 10–20%. В 18% образцов отмечена примесь песка. Общее содержание кустарничков в образцах варьирует от 45 до 95%, в среднем составляет 70%. Часть остатков кустарничков (18%) не удается идентифицировать (см. рис. 4). Основными торфообразователями являются *Empetrum hermaphroditum*, составляющая 31% растительных остатков в торфе (или 37% без учета неопределяемых кустарничков) и виды рода *Vaccinium* 21% (25%). По составу современной растительности основным представителем рода *Vaccinium* являются *V. uliginosum* и *V. vitis-idaea*. Помимо них остатки *Arctous alpinus* отмечены в половине образцов, в основном с удаленных

Таблица 1. Список радиоуглеродных дат островов Кандалакшского залива Белого моря

№	Остров	Координаты места отбора образца	Абсолютная высота, м над ур. м.	Глубина отбора, см	Лабораторный №	Радиоуглеродный возраст, л. н. (BP)	Калиброванный возраст (г. н. э.), 1 σ	Залегание датированного торфа
1	Первая Афанаска	67.054558° 32.562293°	7.7	43–45	ГИН 15736	425 ± 20	1433–1482 (95.4%)	Придонное
2	Песчанка	66.840098° 32.793851°	10.1	38–40	ГИН 15731	570 ± 30	1306–1362 (57.7%), 1385–1424 (37.7%)	Придонное
3	Южный Заяцкий	66.829994° 32.756093°	12.9	49–50	ГИН 15730	970 ± 30	1022–1159 (95.4%)	Придонное
4	Молочница	66.68108° 33.105351°	11.1	49–50	ГИН 15729	1405 ± 20	604–660(95.4%)	Придонное
5	Северный Заяцкий	66.83247° 32.754105°	13.6	70–71	ГИН 15732	1640 ± 30	363–539 (95.4%)	Придонное
6	Северный Заяцкий	66.83247° 32.754105°	13.6	50–52	ГИН 15733	1085 ± 50	870–1035 (90.7%)	В толще
7	Кивреиха	66.741826° 33.00214°	21.1	35–37	ГИН 15734	1840 ± 30	124–250 (91.8%)	В толще
8	Кивреиха	66.741826° 33.00214°	21.1	53–54	ГИН 15735	1025 ± 30	976–1048 (84.8%)	Придонное

от берега островов, со средним содержанием 5% и максимальным в одной из скважин до 50%, *Ledum palustre* в четверти образцов, обычно с содержанием до 5%, редко до 10–15%. Кроме кустарничков обычны остатки морошки, отмеченные в 56% образцов со средним содержанием 4% и максимальным 15%, дерна (*Chamaepericlymenum suecicum*) – в 34% образцов со средним содержанием 2.5%, злаков (45 и 2.5%) и других трав (70 и 5%). Среди последних часто встречается *Chamaenerion angustifolium*.

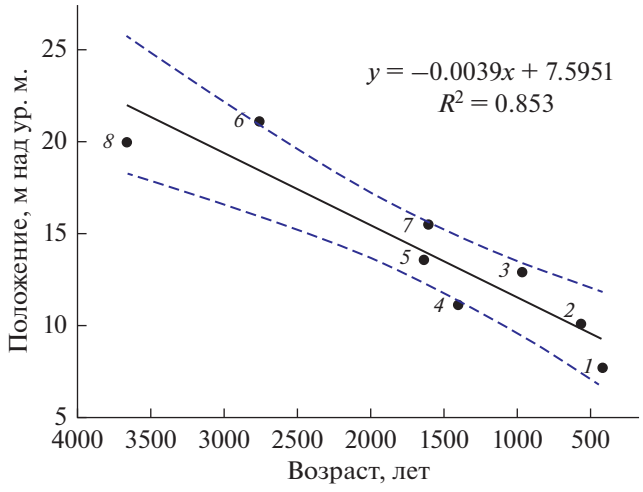

Рис. 5. Зависимость ^{14}C возраста придонного торфа от высотного положения.
1–8 – острова: *1–5* – см. табл. 1; *6* – расчетный возраст придонного торфа для о. Кивреиха; *7*, *8* – Большая Средняя луда и II Столбовая луда (по Kutenkov et al., 2018). Пунктирными линиями показан 95% доверительный интервал.

Остатки деревьев и кустарников, как правило, в примеси, редко их суммарное содержание превышает 5–10%, максимально достигая 20–25%. Сосна отмечена в 21% образцов, можжевельник в 18%, береза в 25%, а ивы (*Salix* spp.) в 6%.

Из мхов обычны остатки *Pleurozium schreberii* (в 45% образцов), реже *Dicranum* (21%) и *Polytrichum* (19%). Еще более редки *Rhytidium rugosum*, *Hylocomium splendens*, *Sanionia uncinata*. Суммарно остатки мхов обычно составляют до 10% торфа, редко до 20%. Содержание остатков мхов в торфе перекликается с их покрытием в современном растительном покрове в зависимости от защищенности от ветрового воздействия: под богатыми мхами зеленомошно-вороничными сообществами в защищенных от сильных морских ветров условиях, содержание мхов в торфе, как правило, выше, чем под лишайниково-арктоусово-вороничными и морошково-вороничными сообществами, характерными для открытых ветрам участков. В отдельных приповерхностных образцах содержание мхов определяется в 50–70% (см. рис. 4б, г, е), что отчасти является результатом фокусировки анализа на мелкие остатки растений, тогда как в верхних об-

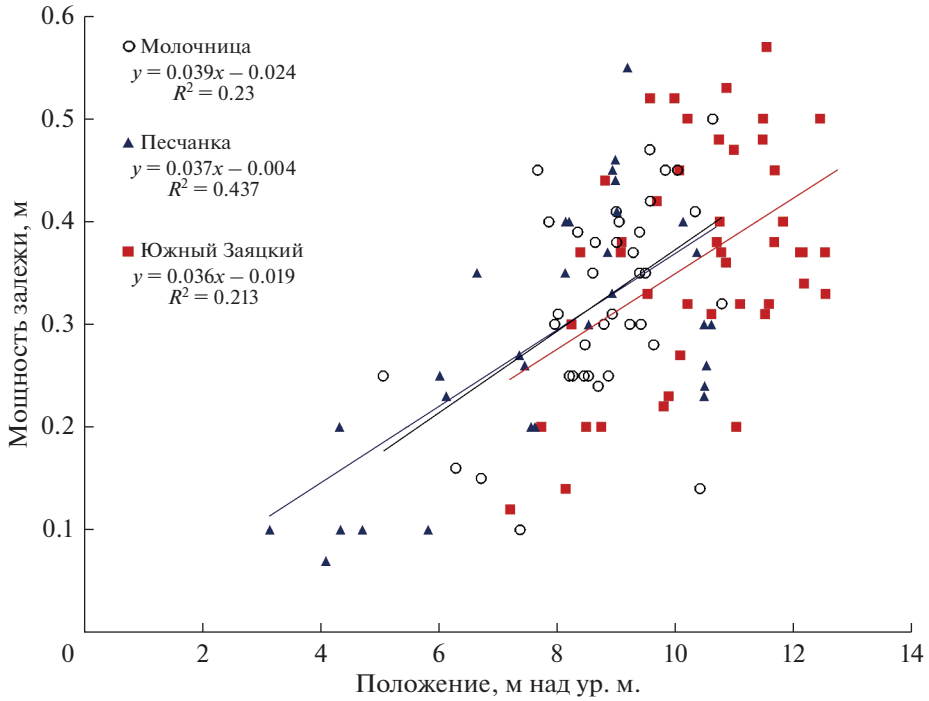

Рис. 6. Зависимость мощности торфяной залежи от высотного положения по результатам зондировки залежи на трех островах Кандалакшского залива.

разцах основную массу занимают совершенно не разложившиеся древесные стволики кустарничков, выпадающие из микроскопирования.

Травяно-кустарничковый торф изредка отмечается в придонном слое залежи (см. рис. 4а, б, ж). Степень разложения такого торфа 35–50% и более, в среднем около 45%, торф черного цвета и более рыхлый по консистенции, чем описанный выше кустарничковый. В половине образцов отмечена примесь песка и небольших камней.

Содержание остатков неидентифицируемых трав в нем составляет 25–90%, в среднем 57%. Кустарничков – 34%, преобладают *Empetrum* и *Vaccinium*. Часто встречаются остатки березы до 5%. Морошка, дерен и мхи отмечаются реже, чем в кустарничковом торфе.

В одном из разрезов в нижней части о. Молочница до 45% составляли остатки *Carex rariflora*, вида и в настоящее время отмеченного в вороничнике в месте отбора. Торф другой скважины, на повышении на плато о. Южный Заяцкий, до 60% состоит из остатков *Festuca ovina* (см. рис. 4в), также представленной в сообществе в настоящий момент.

Ранее мы ошибочно относили часть разложенных травяных остатков из залежей сухих покровных торфяников к пушице, что давало основание предполагать имевшую место климатически обусловленную смену сырых болот плащей на сухие вороничники (Кутенков, Стойкина, 2010; Кутенков и др., 2018; Kutenkov et al., 2018). Однако результаты, полученные нами в ходе дальнейшего изучения торфяников, свидетельствуют об иных путях их развития. Характерных для пушицы механических тяжей в остатках не выявляется. В торфе отсутствуют другие гидрофильные виды сосудистых растений и мхов, характерные для типичных болот-плащей. Спорово-пыльцевой анализ торфа с ряда островов (неопубликованные данные) также подтвердил высокую долю неосоковых трав в сообществах на ранних стадиях развития торфяников. Придонные торфа с преобладанием травяных остатков имеют различный возраст и не обнаруживают строгой временной привязки. Кроме того, на исследованной в данной работе группе островов зачастую подобные слои торфа и вовсе отсутствуют в залежи.

В большей части случаев на изученных островах инициация торфоотложения происходила в сухих вороничниках, несколько реже первые слои торфа отлагались сообществами приморских лугов, впоследствии сменившимися вороничниками. В целом, основная масса торфов под вороничниками на островах отложена самими вороничниками.

Возраст торфяников. Для 6 торфяников получены радиоуглеродные датировки придонного торфа (табл. 1), для двух из них, на островах Северный Заяцкий и Кивреиха, дополнительно датировано по еще одному образцу в 18–20 см выше

дна. Возраст торфа варьирует от 425 до 1840 радиоуглеродных лет.

Наибольший возраст среди всех торфяников, 1840 ± 30 ^{14}C лет (ГИН 15734), получен для о. Киврейха для глубины 35–37 см, вторая датировка в этом же разрезе, придонного слоя с глубины 53–54 см, показала 1025 ± 30 ^{14}C лет (ГИН 15735). Вторая датировка явно омоложена, вероятно, за счет развития корневой системы более современных растений на границе с минеральным дном. Если опираться на первую датировку, то расчетный возраст начала отложения торфа составляет 2760 лет, что вполне соотносится с общей зависимостью возраста от высотного положения участка торфяника (рис. 5). Еще две датировки, ранее опубликованные (Kutenkov et al., 2018), сделаны для покровных торфяников островов, расположенных восточнее – Большая Средняя луда (3664 ± 50 ^{14}C лет (SPb-1928)) и II Столбовая луда (1610 ± 30 ^{14}C лет (ГИН 15057)).

Возраст придонных слоев торфа имеет линейную зависимость от высотного положения (см. рис. 5), что свидетельствует об относительно равномерной скорости поднятия островов Кандалакшского залива. Согласно опубликованным данным (Колька и др., 2013; Романенко, Шилова, 2012), в районе залива происходит равноскоростное поднятие суши, по крайней мере последние три тысячи лет.

Полученное уравнение регрессии показывает, что расчетная скорость поднятия поверхности островов Кандалакшского залива относительно уровня Белого моря составляет около 4 мм/год, с 95% доверительным интервалом 2.1–5.0 мм/год. Это соответствует скорости поднятия берегов залива, оцениваемой для последних тысячелетий в 4–7 мм/год (Баранская и др., 2019; Колька и др., 2013а; Кошечкин, 1979; Романенко, Шилова, 2012)

Нижняя кромка торфяников на островах проходит выше волноприбойной зоны моря, как правило, на уровне от 4 до 7 м над ур. м., соответственно, оценочно, с учетом скорости поднятия поверхности островов, отложение торфа начинается через 1000–1700 лет после пересечения поверхностью острова нулевой отметки. Столь значительное и варьирующее по времени запаздывание не позволяет использовать данный вид отложений для точного прямого датирования положения береговой линии моря, однако дает возможность в некоторой степени делать предварительную оценку и проводить вычисления на основе регрессионного тренда.

Зависимость мощности торфяной залежи от высотного положения и скорость торфонакопления. Для выявления зависимости мощности торфяной залежи от высотного положения были использованы данные зондировки залежи на нивелировочных профилях островов Молочница, Песчанка и Южный Заяцкий. Из анализа были исключены участки, лишенные торфа, на резко выраженных понижениях и повышениях минерального дна, крутых склонах, а также измерения трещин между торфяными полигонами. Всего использовано 115 измерений.

Для всех трех островов методом регрессионного анализа получены значимые ($p < 0.05$) линейные зависимости глубины торфа от высотного положения (рис. 6). С увеличением высотного положения на 1 м глубина торфа увеличивается на 3.6–3.9 см. Прямолинейная зависимость свидетельствует о том, что скорость торфонакопления постоянна весь период существования данных торфяников. Это, равно как и отложения торфа на самых низких отметках, практически у верхней линии волнового воздействия, не позволяет рассматривать данные торфяники как реликтовые (что было сделано в (Кутенков, Стойкина, 2010)). Торфонакопление в вороничниках является относительно постоянным и равномерным процессом. Некоторый сдвиг линий трендов на графике относительно друг друга показывает, что развитие растительности и торфонакопление на островах может начинаться на разной высоте, в зависимости от защищенности участка от штормового воздействия. В данном случае торфонакопление на о. Южном Заяцком начинается несколько позже, чем на двух других островах. Ранее сходные выводы получены М.Н. Кожиным (2011) при изучении формирования флор островов Порьей губы.

Невысокий коэффициент объясненной дисперсии R^2 (0.21–0.44), большие облака рассеяния свидетельствуют, что помимо высотного положения на глубину торфа существенное влияние оказывают и другие факторы. Среди них могут быть неровности минерального дна, угол наклона поверхности, экспозиция, механический состав подстилающей породы и другие.

Сопоставление приведенного выше значения скорости поднятия поверхности островов с зависимостью возрастания глубины залежи от высотного положения показывает, что средний прирост торфа в сухих покровных торфяниках островов Кандалакшского залива составляет около 0.14–0.15 мм/год.

В то же время, прямые вычисления по датированным разрезам дают разброс от 0.2 до 1 мм/год, причем, чем моложе залежь, тем скорость торфонакопления оказывается в ней выше. Это связано с высокой долей верхнего неуплотненного горизонта формирующегося торфа в общей, в целом, небольшой толщине залежи. Другой проблемой прямого вычисления скорости в данном случае является возможное загрязнение придонных образцов более молодым материалом. Кроме того,

имеется методическая ошибка, заключающаяся в том, что для датирования используются наиболее глубокие разрезы, зачастую на локальных понижениях минерального дна. Все это приводит к завышенным показателям скорости торфонакопления. Непрямые вычисления, на основе полученных выше регрессионных зависимостей, нивелирующих влияние степени уплотнения залежи, омоложения придонных слоев и выборочность глубины датируемого разреза, представляются более реалистичными. Полученные значения ниже, чем для обычных болот, и сопоставимы со скоростью торфонакопления болотными лесами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сухие покровные торфяники с вороничниками достаточно распространены на островах Кандалакшского залива Белого моря. В качестве палеоархивов они могут быть использованы для палеогеографических реконструкций наряду с отложениями озер и обычных сырых болот. Что особенно практично с учетом того, что последние отсутствуют на многих малых островах. Так, рассчитанная методом регрессионного анализа по отложениям покровных торфяников скорость гляциоизостатического поднятия островов над уровнем моря в позднем голоцене составляет около 4 (до 5) мм/год и соответствует таковой для берегов Кандалакшского залива, рассчитанной на основе других видов отложений.

Накопление торфа происходит по мере выхода поверхностей островов за пределы волноприбойной зоны моря. Для разных островов и даже их отдельных склонов этот уровень разный и определяется степенью подверженности участков штормовому воздействию. В некоторых случаях в торфяной залежи сохраняется узкая прослойка придонного торфа, отложенного приморскими лугами, в основном же они отложены подобными современным кустарничковыми сообществами с преобладанием вороники.

Сухое торфонакопление продолжается все время существования торфяников и сохраняется в настоящее время, скорость вертикального прироста залежи относительно постоянна и составляет, в среднем, 0.14–0.15 мм/год. Значение скорости прироста залежи получено для подобных сообществ впервые. Можно заключить, что кseроморфные вороничные сообщества в условиях морских островов обладают, подобно болотам, свойством постоянного торфонакопления. Отсутствие сырой болотной стадии и постоянно продолжающееся накопление торфа не позволяет относить данные торфяники к реликтовым. Их развитие можно рассматривать как постоянный естественный природообразовательный процесс для небольших плоских безлесных островов Белого моря.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования проводились в рамках ГЗ ИБ КарНЦ РАН (тема № 122031700449-3 “Болотные экосистемы в естественных и трансформированных условиях европейского севера: разнообразие, динамика, бриофлора и природоохранная ценность”), ГЗ ПАБСИ КНЦ РАН (тема № 1021071612832-8-1.6.11 “Флора лишайников, цианопрокариот, мохообразных и сосудистых растений европейской Арктики и Субарктики”) и ГЗ БИН РАН (тема № 121032500047-1 “Растительность европейской России и Северной Азии: разнообразие, динамика, принципы организации”).

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБУ “Кандалакшский государственный заповедник” за предоставленную возможность и помощь в проведении исследований, а также Н.В. Стойкиной (ИБ КарНЦ РАН), проводившей ботанический анализ торфа.

FUNDING

This research was funded from state assignment of FASO Russia (IB KarRC RAS theme no. 122031700449-3, PABGI KSC RAS no. 1021071612832-8-1.6.11, BIN RAS no. 121032500047-1).

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to staff of Kandaksha State Nature Reserve for support in conducting field studies and N.V. Stoykina (Institute of Biology of Karelian Research Centre RAS) for the botanical macrofossil analysis of peat samples.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агроклиматический справочник по Мурманской области / под ред. М.С. Егоровой. Л.: Гидрометеор. изд., 1961. 88 с.

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

Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / ред. Н.Н. Филатов, А.Ю. Тержевик. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 349 с.

Бреслина И.П. Приморские вороничники – особые тундрообразные экстразональные ценозы // Природа и хозяйство Севера. Апатиты, 1971. Вып. 3. С. 89–91.

Вехов В.Н. Растительность Кемь-Лудского архипелага // Тр. Кандалакшского гос. заповедника. Мурманск, 1969. Вып. VII. Ботанич. иссл. С. 60–125.

Головина Е.О., Баранова Е.В. Флора островов Керетского архипелага Белого моря. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. 154 с.

Кожин М.Н. Флористическое разнообразие островов Кандалакшского залива // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: География. 2011. № 6. С. 85–90.

Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Г.Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене-голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 1. С. 73–88. https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88

Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Й., Корнер Г.Д. Послеледниковые гляциоизостатические движения на северо-востоке Балтийского щита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 15–25.

Кошечкин Б.И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1979. 160 с.

Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 403 с.

Кутенков С.А., Кожин М.Н., Головина Е.О., Стойкина Н.В. Феномен развития “сухих” торфяников островов Белого моря: Материалы Всерос. науч. конф. “Поздне- и постгляциальная история Белого моря: геология, тектоника, седиментационные обстановки, хронология”: Сб. статей. М.: “КДУ”, “Университетская книга”, 2018. С. 80–84.

Кутенков С.А., Стойкина Н.В. Реликтовые торфяники островов Белого моря // Тр. КарНЦ РАН. 2010. № 1. С. 52–56.

Ранний докембрий Балтийского щита / ред. В.А. Глебовицкий. СПб.: Наука, 2005. 711 с.

Романенко Ф.А., Шилова О.С. Послеледниковое 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.

Сафронова И.Н., Юрковская Т.К., Микляева И.М., Огуреева Г.Н. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. М-б 1 : 8000000. Пояснительный текст и легенда к карте. М.: Географический ф-тет МГУ, БИН РАН, 1999. 64 с.

Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 2009. Vol. 51. № 1. P. 337–360.

Kolka V.V., Yevzerov V.V., Møller J.J., Corner G.D. Postglacial sea-level change at Umba, Kola Peninsula, Northen Russia // 2th Queen workshop. S.-Petersburg, Russia. February 5–8, 1998. P. 27.

Kozhin M.N., Golovina E.O., Kopeina E.I., Kutenkov S.A., Sennikov A.N. The flora and vegetation of Sosnovets Island, the White Sea // Memoranda Societatis pro Fauna et Flora Fennica. 2019. Vol. 95. P. 1–35.

Kutenkov S.A., Kozhin M.N., Golovina E.O., Kopeina E.I., Stoikina N.V. Polygonal patterned peatlands of the White Sea islands // IOP Conference Series: Earth and Environ. Sci. 2018. Vol. 138, conference 1. https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012010

Moen A., Joosten H., Tanneberger F. Mire diversity in Europe: Mire regionality // Mires and peatlands of Europe: Status, distribution and conservation / H. Joosten, F. Tanneberger, A. Moen (Eds.). Stuttgart: Schweizerbart Sci. Publ., 2017. P. 97–149.

Moore P.D., Merryfield D.L., Price M.D.R. The Vegetation and Development of Blanket Mires // European Mires / P.D. Moore (Ed.). London: Acad. Press, 1984. P. 203–235.

Reimer P.J. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. 2020. Vol. 62. № 4. P. 725–757.

Dry Cover Peatlands on the Islands of Kandalaksha Bay, the White Sea

S. A. Kutenkov[1, *], M. N. Kozhin[2, 3, **], and E. O. Golovina[4]

[1]*Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia*

[2]*Avrorin Polar-Alpine Botanical Garden-Institute, Kola Science Center, Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

[3]*Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha, Russia*

[4]*Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

**e-mail: effort@krc.karelia.ru*

***email: m.kozhin@ksc.ru*

Dry cover peatlands have been investigated on 11 islands of the Kandalaksha Bay in the White Sea. The peatlands occupy the central convex parts of islands or some of their capes and gentle slopes up to 5° following the mineral surface of the island. Their modern vegetation is represented by xeromorphic *Empetrum* heaths. Peatlands develop directly on rocky surfaces, as well as on sand and pebbles that overlap them. The peat formation on the island surfaces begins as they go beyond the supralitoral zone due to the land uplift continued at the present time. The peat deposit thickness, on average, is about 30 cm, reaching a maximum of 71 cm. Botanical macrofossil analysis of peat showed that peat accumulation begins both at the stage of coastal meadows and at the stage of *Empetrum* heaths. The main peat forming plants are crowberries, blueberries, cloudberries, green mosses and some other species present in modern xeromorphic communities. Accordingly radiocarbon dating of the bottom layers of peat, the vertical uplift rate of the islands' surface is relatively uniform and is estimated at 4 (to 5) mm per year, which corresponds to the uplift rate of the mainland coasts of the bay. The measured radiocarbon age of peatlands ranges from 425 to 1840 years, the estimated age is up

to 2760 years. The peat accumulation rate is relatively constant throughout the existence of peatlands and is estimated, on average, at 0.14–0.15 mm per year. The study disproof the previously made assumption about the relict nature of *Empetrum* heath peatlands.

Keywords: White Sea, *Empetrum* heaths, land uplift, peat, peat accumulation rate, botanical composition

REFERENCES

Agroklimaticheskii spravochnik po Murmanskoi oblasti [Agro-Climatic Guide on Murmansk Region]. Egorova M.S, Ed. Leningrad: *Gidromet. Publ.*, 1961. 88 p.

Baranskaya A.V., Maznev S.V., Romanenko F.A., Shilova O.S. Recent crustal movements of the Karelian 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

Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [The White [Beloe] Sea and Its Watershed under Influenses of Climate and Antropogenic Impact]. Filatov N., Terzhevik A., Eds. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2007. 349 p.

Breslina I.P. Coastal crowberry heaths – specific extrazonal tundra-like communities. *Priroda i Khozyaistvo Severa*, 1971, no. 3, pp. 89–91. (In Russ.).

Bronk Ramsey C. Bayesian analysis of radiocarbon dates. *Radiocarbon*, 2009, vol. 51, no. 1, pp. 337–360.

Golovina E.O., Baranova E.V. *Flora ostrovov Keretskogo arkhipelaga Belogo morya* [Flora of Islands of the Keretskii Archipelago of the White Sea]. St. Petersburg: SPbU, 2006. 154 p.

Kolka V.V., Yevzerov V.Ya., Møller J.J., Corner G.D. Postglacial glacioisostatic movement on the north-east of the Baltic shield. In *Novye dannye po geologii i poleznym iskopaemym Kol'skogo poluostrova* [New Data on Geology and Mineral Resources of the Kola Peninsula]. Apatity, 2005, pp. 15–25. (In Russ.).

Kolka V.V., Yevzerov V.Ya., Møller J.J., Corner G.D. Postglacial sea-level change at Umba, Kola Peninsula, Northen Russia. In *2th Queen workshop*. S.-Petersburg, Russia, February 5-8, 1998, 27 p.

Kolka V.V., Yevzerov V.Ya., Møller J.J., Corner G.D. The Late Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the Umba settlement, southern coast of Kola Peninsula. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2013, no. 1, pp. 73–88. (In Russ.). https://doi.org/10.15356/0373-2444-2013-1-73-88

Koshechkin B.I. *Golotsenovaya tektonika vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita* [The Holocene Tectonic of the Eastern Part of Baltic Shield]. Leningrad: Nauka Publ., 1979. 160 p.

Kozhin M.N. Floristic diversity of islands in the Kandalaksha bay. *Vestn. Mosk. Univ., Ser. 5: Geogr.*, 2011, no. 6, pp. 85–90.

Kozhin M.N., Golovina E.O., Kopeina E.I., Kutenkov S.A., Sennikov A.N. The flora and vegetation of Sosnovets Island, the White Sea. *Memo. Soc. Fauna Flora Fenn.,* 2019, vol. 95, pp. 1–35.

Kravchenko A.V. *Konspekt flory Karelii* [A Compendium of Karelian Flora (Vascular Plants)]. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2007. 403 p.

Kutenkov S.A., Kozhin M.N., Golovina E.O., Stoikina N.V. The phenomenon of the development of dry peatlands of the White sea islands. In *Pozdne- i postglyatsial'naya istoriya Belogo morya: geologiya, tektonika, sedimentatsionnye obstanovki, khronologiya* [The Late-and Postglacial History of the White Sea: Geology, Tectonics, Sedimentation Environments, Chronology]. Moscow, 2018, pp. 80–84. (In Russ.).

Kutenkov S.A., Kozhin M.N., Golovina E.O., Kopeina E.I., Stoikina N.V. Polygonal patterned peatlands of the White Sea islands. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2018, vol. 138, conf. 1. https://doi.org/10.1088/1755-1315/138/1/012010

Kutenkov S.A., Stoikina N.V. Relict peatlands of the White Sea islands. *Tr. KarNTs RAN*, 2010, no. 1, pp. 52–56. (In Russ.).

Moen A., Joosten H., Tanneberger F. Mire diversity in Europe: Mire regionality. In *Mires and Peatlands of Europe: Status, Distribution and Conservation*. Joosten H., Tanneberger F., Moen A., Eds. Stuttgart: Schweizerbart Sci. Publ., 2017, pp. 97–149.

Moore P.D., Merryfield D.L., Price M.D.R. The vegetation and development of blanket mires. In *European Mires.* Moore P.D., Ed. London: Acad. Press, 1984, pp. 203–235.

Rannii dokembrii Baltiiskogo shchita [Early Precambrian of the Baltic Shield]. Glebovitskii V.A., Ed. Leningrad: Nauka Publ., 2005. 711 p.

Reimer P.J. et al. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP). *Radiocarbon*, 2020, vol. 62, no. 4, pp. 725–757.

Romanenko F.A., Shilova O.S. The postglacial uplift of the Karelian coast of the White Sea according to radiocarbon and diatom analyses of lacustrine-boggy deposits of the Kindo Peninsula. *Dokl. Earth Sci.,* 2012, vol. 442, part 2, pp. 242–246.

Safronova I.N., Yurkovskaya T.K., Miklyaeva I.M., Ogureeva G.N. *Zony i tipy poyasnosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territorii* [Zones and Altitudinal Zonality Types of the Vegetation of Russia and Adjacent Territories]. Scale 1 : 8000000. Moscow: Geogr. Fak. MGU, BIN RAN, 1999. 64 p.

Vekhov V.N. *Rastitelnost' Kem'-Ludskogo arkhipelaga* [Vegetation of Kem-Ludskiy Archipelago]. *Tr. Kandalakshskogo Gos. Zapovednika*, 1969, no. 7, pp. 60–125. (In Russ.).