

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.345; 551.89

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-4(3-14)

РАДИОУГЛЕРОДНОЕ ДАТИРОВАНИЕ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
ОСТРОВА БЕЛЫЙ, КАРСКОЕ МОРЕЕ.А. Слагода¹⁻³, Г.В. Симонова⁴, Я.В. Тихонравова¹,
А.О. Кузнецова¹, К.А. Попов¹, П.Т. Орехов¹¹Институт криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия; eslagoda@ikz.ru²Тюменский государственный университет, 625003, Тюмень, ул. Володарского, 6, Россия³Тюменский индустриальный университет, 625000, Тюмень, ул. Володарского, 38, Россия⁴Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
634055, Томск, пр. Академический, 10/3, Россия

В 2015–2016 гг. на о. Белый Карского моря изучены разрезы многолетнемерзлых отложений и построена серия из 20 радиоуглеродных дат. Построена схема распространения каргинских, сартанских и голоценовых отложений I и II морских террас, лайды и поймы протоки Рогозина на острове. Каргинские прибрежно-морские отложения слагают II террасу, неровный цоколь I террасы и залегают ниже уровня моря под лайдой. Сартанские прибрежно-морские и субаэральные отложения распространены на I террасе. Впервые радиоуглеродным датированием подтвержден возраст сартанских отложений. Зафиксировано отступление моря с юга на север в пределах острова на рубеже каргинского и сартанского времени. Лайда и пойма протоки Рогозина формировались в атлантический, суббореальный и малый ледниковый периоды голоцена одновременно с торфом в хасыреях на террасах.

Остров Белый, террасы, лайда, радиоуглеродные датировки, каргинский, сартанский, голоценовый возраст, литология, ботанический состав

RADIOCARBON DATING OF PERMAFROST IN BELY ISLAND, THE KARA SEA

E.A. Slagoda¹⁻³, G.V. Simonova⁴, Ya.V. Tikhonravova¹,
A.O. Kuznetsova¹, K.A. Popov¹, P.T. Orekhov¹¹Earth Cryosphere Institute, Tyumen Scientific Center SB RAS, Malygina str., Tyumen, 625026, Russia; eslagoda@ikz.ru²Tyumen State University, 6, Volodarskogo str., Tyumen, 625003, Russia³Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskogo str., Tyumen, 625000, Russia⁴Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, SB RAS, 10/3, Akademicheskoy ave., Tomsk, 634055, Russia

Twenty radiocarbon ages have been obtained for permafrost sections on Bely Island (Kara Sea) sampled in 2015–2016. The results make basis for sketch maps of Late Pleistocene (Karginian and Sartanian) and Holocene deposits of marine terraces I and II, the laida, and the floodplain of the Rogozin tidal channel. The Karginian shelf sediments make up terrace II and the uneven base of terrace I, and lie below the sea level under the laida; the Sartan shelf and subaerial deposits are widespread on terrace I. The new radiocarbon ages place the first time constraints on the Sartan sediments and record the northward sea retreat within the island at the Karga/Sartan boundary. The laida and the Rogozin Channel floodplain formed during the Atlantic, Subboreal, and Little Ice Age deposition in the Holocene simultaneously with peat deposition in drained lakes (hasyreys) on terraces.

Bely Island, terrace, laida, radiocarbon dating, Karga, Sartan, Holocene, lithology, flora composition

ВВЕДЕНИЕ

Радиоуглеродное датирование мерзлых толщ островов Арктики – актуальная задача исследований [Архипов, 1997; Большианов, 2016]. В последнее время в Карском регионе получены датировки из отложений в низовьях Енисея [Гусев и др., 2011, 2016], на севере Гыданского полуострова [Васильчук, Васильчук, 2010; Облогов, 2015], на о. Сибирякова [Опокина и др., 2010], о. Белый [Васильчук, Васильчук, 2010, 2015; Баранская и др., 2015]. Их количества и сведений о залегании растительных

остатков недостаточно для корреляции разрезов, реконструкций колебаний уровня моря и изменений палеоклимата.

Определение радиоуглеродного возраста растительных остатков из отложений базируется на том, что изотопный состав углерода унаследован из среды обитания биоты. При интерпретации возраста учитывают стратиграфию отложений, ботанический состав и залегание остатков растений, особенности методики радиоуглеродного датиро-

вания [Панин, 2014]. По условиям захоронения выделяют аллохтонные (переотложенные) и автохтонные (захороненные на месте произрастания – *in situ*) растительные остатки. Для датирования более пригодны автохтонные – торф, мхи, травы, кустарнички и их корни. Нарушения залегания автохтонных остатков в толще (в том числе псевдоморфозы, биотурбации в виде нор) [Занина, 2005] могут приводить к омоложению возраста. Аллохтонные переотложенные остатки (древесина, плаваниек, щепки, окатыши торфа) обычно увеличивают возраст осадочных толщ.

Аллювиальные и озерные отложения включают в основном растительные остатки, смытые с берегов, а морские осадки литорали, пляжа, лаиды, подводных течений, лагуны в прибрежных областях – совместно захороненную морскую фауну и растительность с прилегающей суши [Фролов, 1992]. Такие растительные остатки часто залегают в виде линз, слоев “войлока”, а их возраст позволяет оценить период накопления пойменных, дельтовых, озерных и литоральных осадков. При накоплении осадков нередко происходило нарушение правильной последовательности радиоуглеродных дат в разрезе за счет переотложения органики. Признаком синхронности произрастания растений, накопления осадков и их быстрого промерзания служит хорошая сохранность растительных остатков: наличие коры и тонких корней, целостность хрупких листьев, стеблей, зеленоватый цвет. Радиоуглеродное датирование органики проводят в основном по фракции целлюлозы, стабильной по соотношению изотопов углерода после захоронения [Моргун и др., 2008].

При определении радиоуглеродного возраста и строения многолетнемерзлой толщи о. Белый были учтены генезис и криогенное строение отложений, обстановка произрастания растений по их ботаническому составу и залегание растительных остатков.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В 2015 г. на о. Белый криолитологическими методами изучены разрезы естественных обнажений, структурно-текстурные особенности, гранулометрический состав отложений, определены условия захоронения и залегания растительных остатков, собраны пробы на изотопный анализ.

Гранулометрический анализ 76 проб отложений выполнен на лазерном гранулометре Malvern 3000 и отмучиванием, рассеиванием на ситах [ГОСТ 25100..., 2013]. В отложениях установлены мелкие пески, тонкие пески, супеси песчаные и суглинки песчаные и пылеватые.

Радиоуглеродное датирование фракции целлюлозы из растительных остатков 18 проб (массой более 100 г) выполнено жидкостно-сцинтилляционным методом на спектрометре-радиометре

Quantulus в ТомЦКП СО РАН, ИМКЭС СО РАН (табл. 1). Радиоуглеродные даты 10 проб растительных остатков (массой 5–10 г) по целлюлозе определены методами ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в ЦКП СО РАН, Новосибирск (табл. 2). Пробы с низким содержанием углерода не учитывались при определении возраста. Расчет калиброванного возраста (calBP – Before Present, от 1950 г. н.э.) выполнен по континентальной кривой атмосферного радиоуглерода в Северном полушарии IntCAL 13 [Program Calib 7.0.4, 1993; Aiken et al., 2011; Reimer et al., 2013; Stuiver et al., 2013].

В торфе был определен ботанический состав и получена последовательная серия радиоуглеродных датировок. Реконструкция палеофитоценозов основана на определении видового состава растительности в торфе, отражающей ее доминантное ядро в тундрах Западной Сибири [Абрамова и др., 1961; Преис и др., 2016]. Ботанический состав торфа определен микроскопическим методом [Андреева и др., 2008] по атласу-определителю [Кац и др., 1977]. Для палеоэкологического анализа монолит торфа размером 15 × 15 × 22 см был разделен по границам с учетом их наклона на пять слоев толщиной 2.5–4.0 см. В каждом слое под микроскопом определены ботанический состав в процентах от суммарной площади растительных остатков, степень разложения, зольность и плотность торфа [Тюремнов и др., 1977].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Естественные обнажения изучены на западном побережье о. Белый на севере – вдоль протоки Рогозина, на юге – в районе “столба Евладова”. Рельеф острова низменный с высотами 0–12 м над уровнем моря, выровненный с относительно возвышенными участками, пологими склонами, понижениями вокруг озер, хасыреев и мелких рек. В пределах острова выделены геоморфологические элементы: на севере – отмели, пляж, лаида, пойма (высотой 0–4 м) и I морская терраса (высотой 3–7 м); в южной половине острова – II морская терраса (высотой 6–12 м) (рис. 1).

Отложения II террасы изучены в расчистках R-00, R-z1, R-12, R-t15 (рис. 2, А) и разделены на нижнюю пачку и покровный слой. В разрезах нижней пачки чередуются слои мелких и тонких хорошо сортированных песков (с содержанием частиц 0.05–0.25 мм до 95 %, см. рис. 2, Г). Слоистость песков ровная, параллельная горизонтальная, крупная (толщина слоев 0.10–0.15, 0.3–0.5 м); внутренняя слойчатость частая тонкая (0.01–0.03 м) за счет примесей средних песков (5–12 %) и пылеватых частиц (до 10 %). Присутствует также линзовидная пологонаклонная мелковолнистая слоистость (типа волновой ряби), образованная намытыми растительными остатками – “вой-

Таблица 1. Радиоуглеродные даты, полученные жидкостно-сцинтилляционным методом из датированной фракции целлюлозы торфа и растительных остатков (ТомЦКП СО РАН, Томск)

Элементы рельефа	Рас-чистка	Пачка, слой	Глубина, м	Радиоугле-родные даты, лет назад от 1950 г.	Индекс ИМ КЭС-14С	Калиброван-ный возраст календарных лет, 68.2 % 1σ	Растительные остат-ки, торф; условия захоронения	Вмещающие отло-жения, криогенные образования
Лайда	R-7	Покров-ный слой	0.60	622 ± 90	841	551–659	Автохтонный торф из мхов	Реликтовые бугры пучения, торфа
	R-7		0–0.1	664 ± 97	849	552–680		
	R-7		0.55	105 ± 2	828	Современный		
	R-8		0.21	370 ± 71	840	319–500		
	R-8		0.07	546 ± 88	831	511–645		
II терраса	R-t15	Покров-ный слой	0.70–0.75	2924 ± 102	1039	2929–3213	Автохтонный погребенный торф слоистый с песком осоковый	Погребенный хасырей, полиго-нальный микро-рельеф
			0.75–0.80	3775 ± 105	1049	3983–4337		
			0.80–0.85	5206 ± 97	1058	5894–6178	Торф хвощево-бере-зово-осоковый	
			0.85–0.89	5848 ± 150	965	6479–6848	Хвощево-березово-осоковый	
			0.89–0.91	7820 ± 130	1057	8440–8856	Торф хвощево-осо-ковый	
I терраса	R-2	Средняя	2.80–2.85	29 062 ± 746	823	32 233–33 899	Аллохтонный детрит переотложенный	Полигональный микро-рельеф, по-гребенная нора с комками расти-тельной подстилки
	R-9	Средняя	1.20	19 931 ± 567	824	23 244–24 670	Автохтонные расти-тельные остатки: листья, стебли трав, мхи, смещенные в биотурбации	
			1.40–1.45	41 232 ± 1495	838	43 342–45 891	Аллохтонная переот-ложенная древесина (плавник)	
II терраса	R-12	Нижняя	1.85	21 036 ± 677	827	24 466–25 937	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Линзы “войлока” в песках со слоисто-стью, изогнутой вверх вблизи грун-товой жилы
	R-z1	Нижняя	2.5	25 383 ± 748	825	28 763–30 360	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Прослой, линзы “войлока” в песках со слоистой волновой ряби
			3.0	25 559 ± 591	826	29 072–30 407		
			4.3	31 954 ± 985	829	34 761–37 001		
R-00	Нижняя	3.4	30 087 ± 605	816	33 659–34 693	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Прослой “войлока” из растительных остатков в песках с наклонной слоис-тостью	

локом” из целых мхов, трав, стеблей, тонких веточек с корой, семян и единичными обломками хитина, щепками. Радиоуглеродные даты от ~32 до ~21 тыс. л.н. получены из намытой растительности, произраставшей на суше синхронно накоплению осадков (см. табл. 1, 2).

В разрезе R-12, на глубине 0.5–2.3 м в песках с параллельной, круто изогнутой вверх и запрокинутой слоистостью вскрыта псевдоморфоза, выполненная супесью. Пески окрашены охристым вертикальным потоком вдоль вытаявшей узкой ледяной жилы из вышележащего покровного слоя. Криогенная текстура массивная. Пачка включает сомкнутые трещины, клиновидные охристые потеки и псевдоморфозы по вытаявшим ледяным

жилам (вертикальный размер 2.0–2.7 м). Видимая мощность пачки 4.5–5.0 м.

Покровный слой террасы представлен сезонно-талой дерниной, автохтонным торфом мощностью 0.1 м, с неровной нижней границей, осложненной внедрениями песков. В разрезе R-t15, расположенном в пределах хасырея, мерзлый погребенный торф залегает на глубине 0.7–0.9 м, перекрыт хорошо сортированным песком с горизонтальной волнистой, перемятой слоистостью (криотурбациями), пятнами гидроокислов железа, корнями травянистых растений. Торф состоит из двух слоев: нижний – с перемятой наклонной слоистостью, с жилками и затеками в подстилающие пески, верхний – горизонтально-слоистый с присыпками пе-

Таблица 2. Радиоуглеродные даты, полученные из графита по целлюлозе растительных остатков методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS) в ЦКП СО РАН, Новосибирск

Элементы рельефа	Рас-чистка	Пачка, слой	Глубина, м	Радиоугле-родные даты, лет назад от 1950 г.	Индекс ИМ КЭС-14С	Калиброван-ный возраст календарных лет, 68.2 % 1σ	Растительные остатки, торф; условия захоро-нения	Вмещающие отло-жения, криогенные образования
Лайда, бе-реговой уступ	R-3	Покров-ный	0.78	7346 ± 125	01723	8027–8218	Автохтонный погребенный торф из мхов, стеблей трав	Полигональный микрорельеф, ПЖЛ, торф криогурбирован, кровля размыта
		Нижняя	1.10	23 710 ± 310	01721	27 557–28 088	Аллохтонные переот-ложенные щепки, древесина	Пески со слоисто-стью волновой ряби
Пойма протоки Рогозина; береговой уступ	R-4	Покров-ный	1.28	2703 ± 194	01727	3057–3274	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Пески со слоисто-стью волновой ряби
		Нижняя	2.90	23 540 ± 319	01729	27 434–27 927	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Пески с ровной крупной наклонной слоистостью
I терраса	R-6	Сред-няя	0.65	18 570 ± 579	01731	21 736–23 116	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, хитина, синхрон-ные накоплению толщи	Слои “войлока” в супесях, песках
			1.10	24 280 ± 317	01733	27 988–28 616	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Прослой “войлока” в слоистых суглинках, супесях, песках
			1.65	15 620 ± 595	01735	18 230–19 597	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Линзы “войлока” в слоистых песках супесях, суглинках
		Нижняя	2.0	26 050 ± 330	01737	29 892–30 691	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, синхронные накоплению толщи	Слои, линзы “войлока” в песках со сло-истостью волновой ряби
			2.4	22 080 ± 279	01739	25 997–26 613	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, корней, синхрон-ные накоплению толщи	Слои “войлока” в песках, супесях с горизонтальной слоистостью
II терраса	R-12	Нижняя	2.80	22 770 ± 465	01743	26 565–27 473	Намытые раститель-ные остатки мхов и трав, веточек, семян, хитина, щепочек, синхронные накоплению толщи	Линза “войлока” в горизонтально-слоистых песках

ска, корешками трав *in situ*. Автохтонный погребенный торф плотный, разложенный с высокой зольностью, включает устойчивые части осоки, пушицы, березы, хвоща, политрихума и сфагнума *in situ* [Кузнецова и др., 2017]. Датировки торфа от ~7.8 до ~2.9 тыс. л.н. (см. табл. 1). Криотекстура песков и торфа покровного слоя массивная, они включают полости от вытаявших жил льда. Мощность слоя 0.5–2.0 м.

Отложения I террасы на северо-западе острова изучены в расчистках R-2, R-6, R-9 и скважинах ОБЗ, ОБ2 (см. рис. 2, А) и включают нижнюю, среднюю пачки и покровный слой.

В нижней пачке преобладают плохо сортированные смешанные породы – супеси и суглинки с содержанием глинистых частиц до 18 %, алевроитов до 61 % и песков до 48 % (гистограммы синего цвета на рис. 2, В), присутствуют хорошо сортированные пылеватые, тонкие пески, аналогичные отложениям II террасы. Седиментационная слоистость отложений ровная и мелковолнистая, горизонтальная и пологонаклонная, линзовидная, с изгибами вверх и затеками вниз. В отложениях присутствуют намытые растительные остатки, диатомовые водоросли, установлены посткриогенные сетчатые текстуры. Радиоуглеродные даты из

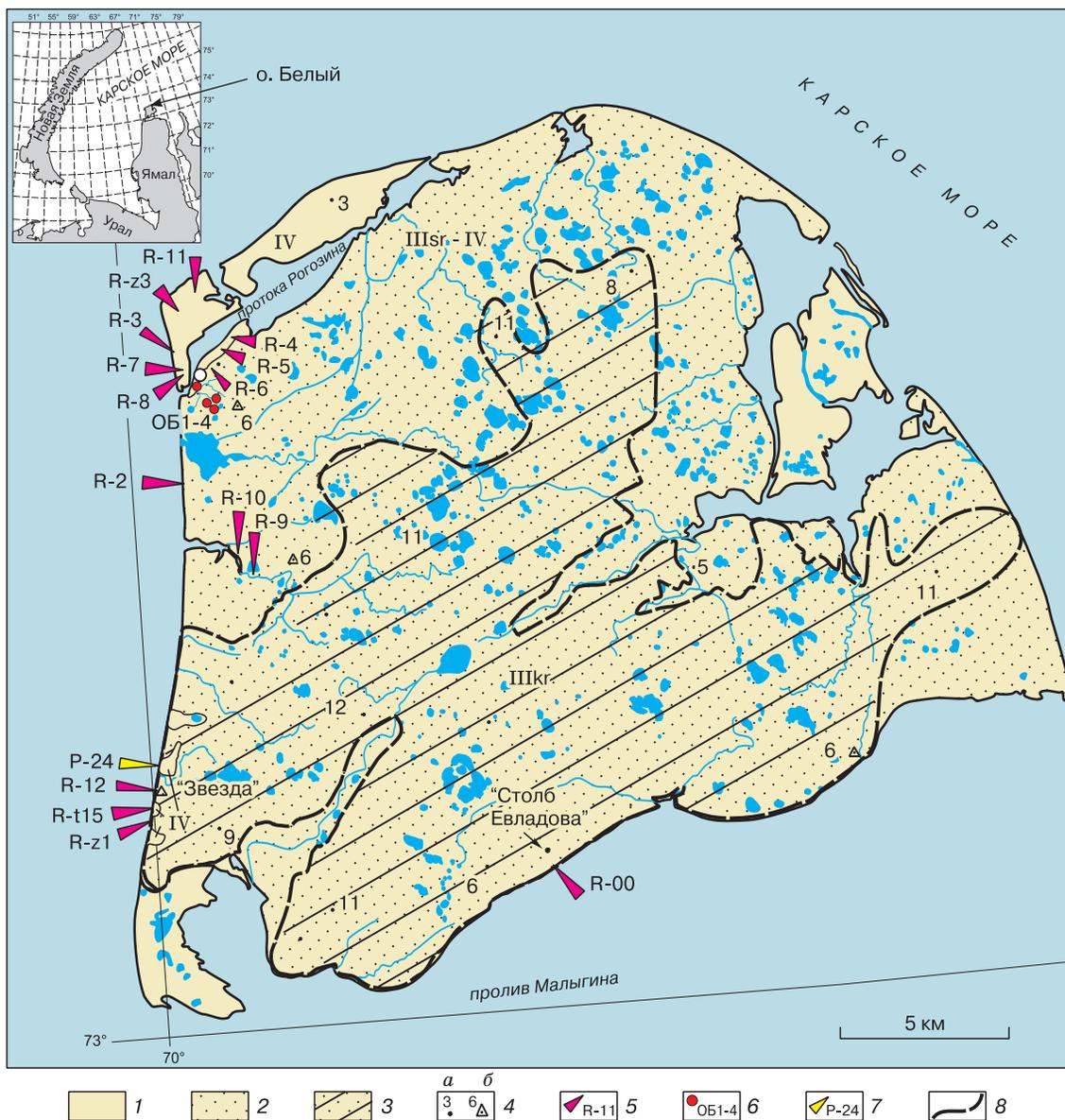


Рис. 1. Геоморфологические уровни и расположение расчисток на о. Белый.

1 – голоценовые отложения (IV) на лайдах, пляжах, затопляемых дельтах, поймах проток; 2 – нерасчлененные сартанские и голоценовые отложения (III_{sr}–V) I террасы; 3 – каргинские (III_{kr}) и голоценовые (IV) отложения II террасы; 4 – абсолютные высоты поверхности по топографической карте (а), геодезических пунктов (б); 5 – расчистки 2015 г. и их номера; 6 – скважины 2010 г. и их номера; 7 – расчистка и ее номер по данным З.С. Артемьевой с соавт. [2016]; 8 – предполагаемые границы террас.

слоев растительного “войлока” составляют от ~22.0 до ~26.0 тыс. л.н. (см. табл. 2). Криотекстуры массивные, линзовидные и неполносетчатые, в отложениях внедряются окончания ледяных жил из вышележащих отложений. Верхняя граница пачки четкая ровная, наклонная или крупно- и мелковолнистая охристая, фиксирует размыв подстилающих отложений. Пачка образует цоколь I террасы, вскрытая мощность 4 м.

Средняя пачка в южной части террасы представлена хорошо сортированными мелкими, тонкими и пылеватыми песками, реже супесями и суглинками, с содержанием глинистых частиц до 6 %, пылеватых – до 49 %, песчаных – до 50 %. Слоистость параллельная волнистая, выдержанная и линзовидная, образована колебанием количества мелких и средних песков, намывных растительных остатков. В разрезах R-2 и R-9 пачка

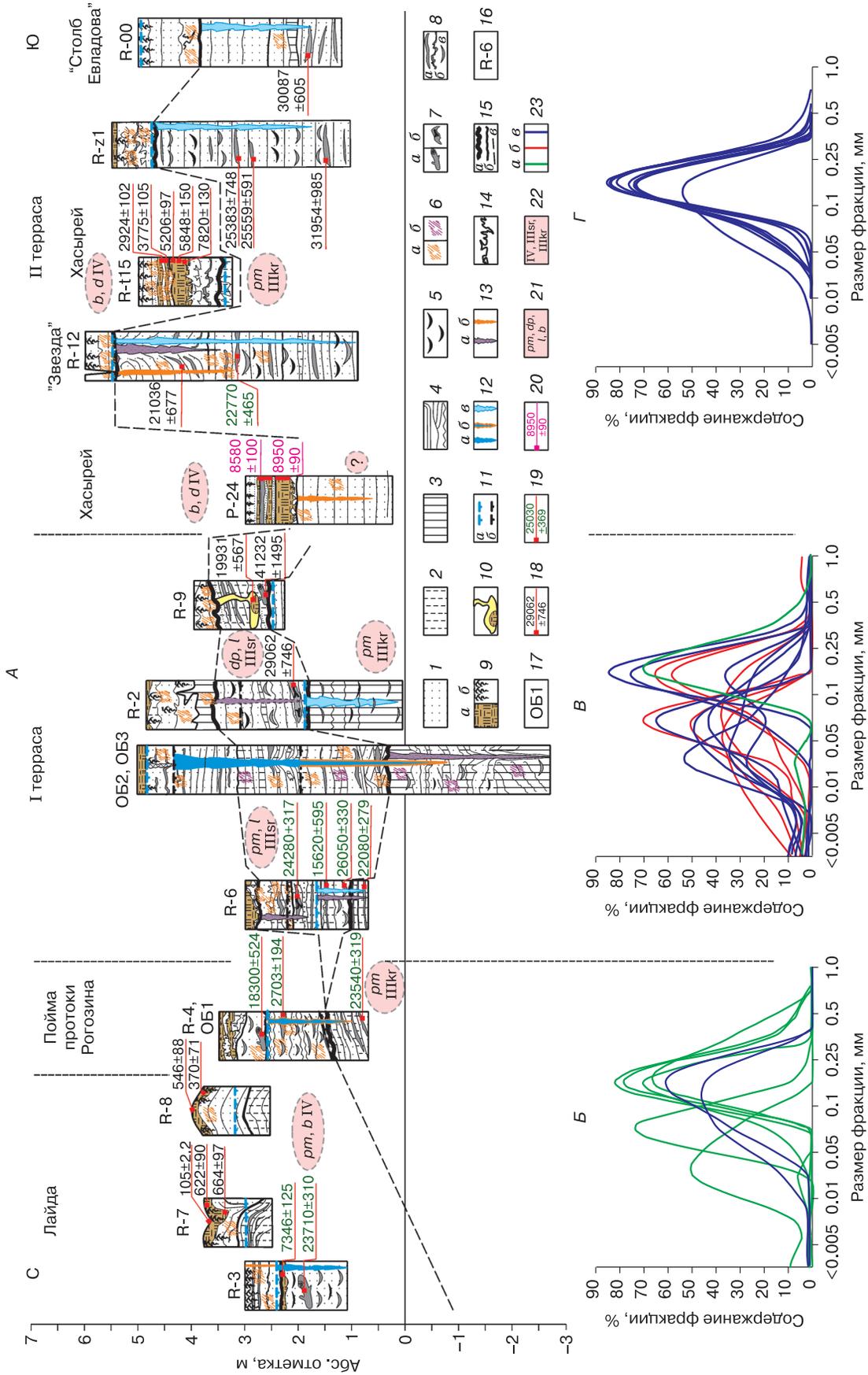


Рис. 2. Геокриологические разрезы западного побережья о. Белый (А) и granulометрический состав отложений лайд и поймы (Б), I террасы (В).

1 – песок; 2 – супесь, пылеватые, глинистые пески; 3 – суглинки, алевроиты; 4 – слоистость седиментационная; 5 – слоистость линзовидная волновой ряби; 6 – пятна, полосы железистых соединений охристых (а), сизых, черных (б); 7–9 – растительные остатки; 7 – аллохтонные переложенные, древесина (а), щепки, веточки, обломки (б); 8 – намытые, синхронные накопления осадков в виде горизонтальных прослоев, линз (а), смятых слоев (б), линз, наилок волновой ряби (в); 9 – автохтонные,

торф (а), корни трав *in situ*, дернина (б); 10 – нора с автохтонными растительными остатками в подстилке; 11–14 – криогенные образования; 11 – граница мерзлых и талых пород в расчистках современная (а), реликтовая (б); 12 – жильные льды вскрытые сингенетические (а), с ожелезненными боковыми контактами (б), предполагаемые по наличию полигональной сети на поверхности (в); 13 – псевдоморфозы с вертикально-волнистой слоистостью (а), охристые клиновидные загибы (б); 14 – криотурбации; 15 – границы размыва (а), пачек, слоев (б), линии корреляции горизонтов (в); 16 – номера скважин; 17 – номера расчисток; 18–20 – радиоуглеродные даты растительных включений; 18 – выполненные в ИМКЭС СО РАН; 19 – ЦКПСО РАН; 20 – по данным З.С. Артемьевой с соавт. [2016]; 21 – индексы генезиса отложений; 22 – морская мелководный (подтипы прибрежных, потоковых, волновых осадков), d – делювиально-пролювиальный, l – озерный, b – биогенный; 22 – индексы возраста отложений: IV – голоцен; ПНКг – каргинского горизонта позднего неоплейстоцена; ПНсг – сартанского горизонта позднего неоплейстоцена; 23 – granulometricheskii состав отложений голоценового (а), сартанского (б), каргинского (в) возраста.

содержит растительный “войлок” из намытых стеблей трав, мхов хорошей сохранности, а внизу – аллохтонную древесину (плавник), линзы детрита из щепок с датами 29–41 тыс. л.н. В расчистке R-9 пачка включает овальную линзу (ширина 1.0 м, высота 0.5 м) и извилистый наклонный ход вверх, которые заполнены рыхлым палевым песком с комками вмещающих супесей, дернины и являются погребенной норой. Нора содержит целые стебли мхов и комки трав хорошей сохранности с радиоуглеродной датой ~19.9 тыс. л.н. Криогенная текстура песков массивная. Мощность пачки 2 м.

Средняя пачка на севере террасы вскрыта расчисткой R-6 и скважинами ОБ2, ОБ3 [Слагода и др., 2013]. Она с размывом залегает на подстилающих породах и представлена тонкими, мелкими и пылеватыми песками. Нижняя часть пачки с крупной и тонкой горизонтальной ровной слоистостью, верхняя часть – с мелкой линзовидной, тонкой волнистой и косой слоистостью волновой ряби, подчеркнутый намытым растительным детритом. Датировки пачки в расчистке R-6 находятся в диапазоне от ~15.6 до ~26.1 тыс. л.н. и не образуют правильной последовательности. Пачка включает полигонально-жильный лед, вблизи которого слоистость отложений изогнута вверх, криогенные текстуры крупно- и мелкосетчатые, линзовидные, микролинзовидные параллельные. Мощность пачки составляет 0.5–4.0 м (см. рис. 2, А).

Покровный слой (R-2, R-6) из хорошо сортированных мелких песков, дернины и автохтонного торфа с остатками корней растений *in situ*, с размывом залегает на подстилающих песках, что подчеркнуто скоплениями охристых пятен и полос гидроокислов железа. Торф с тонкими ледяными жилками распространен в термокарстовых понижениях и хасыреях с полигональным микрорельефом. В охристых песках под торфом отмечены криотурбации, заторфованные грунтовые жилы, узкие песчаные псевдоморфозы и охристые клиновидные потеки. В скважине ОБ2 пески с сетчатой криогенной текстурой перекрывают полигонально-жильный лед [Слагода и др., 2013]. Мощность слоя 0.5–2.0 м.

Отложения лайды, поймы, прибрежных отмелей протоки Рогозина изучены в расчистках R-3, R-4, R-5, R-7, R-8, R-11 (см. рис. 1, 2, А), в разрезах выделены нижняя супесчаная пачка и покровные пески с торфом и дерниной. К этому же уровню были отнесены отложения, вскрытые в 2009 г. в скважине ОБ1 и расчистке на берегу протоки [Слагода и др., 2013].

Нижняя пачка представлена сортированными пылеватыми песками и супесями с содержанием глинистых частиц до 9 %, пылеватых – до 57 % и песчаных – до 34 % (см. рис. 2, Б), по сочетанию пород она аналогична отложениям нижней пачки I террасы. Верхняя граница пачки неровная размытая, волнистая, деформирована пучением, на севере погружена под урез моря (см. рис. 2, А). Для нижней пачки песков характерна наклонная и смятая слоистость, образованная содержанием частиц разной крупности, наилками намытых растительных остатков. Для линзы растительного “войлока” из разреза R-4 получена дата 23.5 тыс. л.н. (см. табл. 2, рис. 2, А). В отложениях отмечена посткриогенная текстура. Наклонная крупная и тонкая слоистость осложнена вертикально-волнистыми деформациями в псевдоморфозах, изогнута вверх. Криогенная текстура в песках массивная, в супесях линзовидная тонкая и линзовидно-слоистая волнистая, параллельная седиментационной слоистости и кровле пачки. Видимая мощность 0–1 м.

Покровный слой включает слоистые пески, прослои автохтонного погребенного и поверхностного торфа. Хорошо сортированные тонкие, мелкие пески и супеси содержат многочисленные свежие и разложенные нитевидные корешки трав, окрашены охристыми пятнами и полосами гидроокислов железа. Седиментационная слоистость линзовидная и выдержанная; пологонаклонная параллельная и с разным наклоном срезающая слои; тонкая мелковолнистая и извилистая. Слоистость образована чередованием супеси, песков разной крупности и намытыми растительными остатками. Кроме растительного “войлока” из целых стеблей трав и мхов хорошей сохранности, в песках отмечены прослои аллохтонных щепок, детрита и древесина без коры. На лайде в разрезе R-3 залегает погребенный прослой автохтонного торфа (0.1–0.2 м) с неровной извилистой нижней границей и ровной размытой верхней. Радиоуглеродная дата из автохтонного торфа – 7.3 тыс. л.н.

Слоистость песков и алевроитов в реликтовых бургах пучения деформирована, радиоуглеродные даты поверхностного автохтонного торфа в разрезах R-7, R-8 составляют 0.6–0.1 тыс. л.н. [Орехов и др., 2017]. На пойме протоки в разрезе R-4 из линзы намывных растительных остатков мхов и стеблей хорошей сохранности получена дата 2.7 тыс. л.н. (см. табл. 2). Мерзлые пески с массивными криогенными текстурами содержат тонкие (0.05–0.10 м) ледяные жилы, льды трещин отседания и псевдоморфозы, выполненные торфом. Вскрытая мощность слоя 0.5–2.5 м.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отложения II террасы в южной половине о. Белый. Для II террасы характерен плоский и выпуклый полигональный микрорельеф, в разрезах вскрыты псевдоморфозы, вертикальные и клиновидные скопления гидроокислов железа по вытаявшим жилам и ледяные жилы [Баранская и др., 2015], что указывает на распространение в многолетнемерзлой толще не менее двух ярусов полигонально-жилых структур (см. рис. 2, А).

Нижняя пачка в разрезах по однородному гранулометрическому составу, хорошей сортировке, равномерной крупной слоистости и мелковолнистой слоистости волновой ряби, присутствию растительного “войлока” отнесена к прибрежно-морским осадкам медленных течений со слабой несущей способностью и волнений в приливно-отливной зоне (см. рис. 2, А) [Слагода и др., 2014а,б; Тихоновова и др., 2016]. Радиоуглеродные даты получены из “войлока” – растительных остатков, произраставших на размываемой суши синхронно накоплению осадков. Калиброванные даты относятся к интервалу времени от 37 000 до 26 565 лет; вверху разреза R-12 дата 24 466–25 937 лет – к рубежу каргинского и сартанского времени (см. табл. 1, 2, рис. 2, А). Прибрежно-морские отложения II террасы датированы второй половиной каргинского времени [Унифицированная... схема, 2000].

Покровный слой террасы сформирован в хасырее на суше. Торф перекрыт охристым слоистым песком с отмершими корешками трав *in situ*. Субаэральные делювиальные и, вероятно, золотые пески накапливались в сухом хасырее. Возраст покровного слоя определен по пяти пробам из монолита погребенного автохтонного торфа в разрезе R-t15. Датирование показало возраст в нижней части торфа со смятой слоистостью от 8856 до 5894 лет; в верхней части торфа с горизонтальной слоистостью и присыпками песка – от 4337 до 2929 лет (см. рис. 2, А, табл. 1). Нижняя часть представлена березово-хвощево-осоковым торфом, который характерен для умеренно увлажненной типичной тундры без влияния моря, верхняя часть – осоковым торфом с песчаными прослойками,

которая накапливалась в холодных условиях заболачивания и осушения [Ребристая, 2013; Кузнецова и др., 2017]. Состав торфа свидетельствует о произрастании березки в оптимум голоцена в хасырях на о. Белый. На широкое распространение раннеголоценового погребенного автохтонного торфа в хасырях на II террасе также указывают даты 9479–9672 лет (ИГАН5009) и 9921–10 075 лет (ИГАН5010) [Артемова и др., 2016] (см. рис. 2, А, Р-24).

Отложения I террасы в северо-западной части о. Белый. *Нижняя пачка* по пестрому гранулометрическому составу, слоистости, засоленности, совместному присутствию “войлока”, мхов и морских диатомовых отнесена к морским осадкам – прибрежным, зон слабых волнений на литорали и в заливах. Смятая слоистость отложений в псевдоморфозах, посткриогенное макро- и микростроение пород и наложенные криогенные текстуры связаны с тем, что накопление прибрежно-морских осадков пачки сопровождалось сингенетическим промерзанием, позднее их протаиванием, проседанием и эпигенетическим промерзанием [Слагода и др., 2013, 2014а,б].

На каргинский возраст отложений в разрезах R-2, R-9 указывает то, что в перекрывающих песках над размытой кровлей нижней пачки залегают аллохтонные мелкие щепки, обрывки растений с датой 32 233–33 899 лет и древесина с датой 43 342–45 891 лет (см. рис. 2, А, табл. 1, 2). На севере террасы в разрезе R-6 каргинские даты определены для намывных растительных остатков на глубине 2.4 м – 25 997–26 613 лет, а в перекрывающей пачке, непосредственно над размытой кровлей на глубине 2.0 м, – 29 892–30 691 лет. Каргинский возраст отложений цоколя I террасы подтверждают близкие даты ~37–40 тыс. л.н. из аллохтонного детрита разрезов на востоке о. Белый [Баранская, Романенко, 2017].

Средняя пачка на юге I террасы сложена наклонно-слоистыми песками и супесями, включает погребенную нору землероев, аллохтонную древесину и нитевидные корешки трав и отнесена к субаэральным делювиально-пролювиальным отложениям (осадкам временных водотоков). Присутствие внизу пачки аллохтонной древесины с каргинскими датами также указывает на размыв каргинской толщи II террасы водотоками.

В погребенную нору (расчистка R-9) были перемещены вниз растительные остатки из дернины, не сохранившейся в разрезе. Автохтонные растительные остатки из норы датированы 23 244–24 670 лет (см. табл. 1). Следовательно, уже в начале сартанского периода на юге о. Белый существовала субаэральная поверхность с травянистой растительностью, а отсутствие в разрезе соответствующей дернины, по-видимому, связано с размывом этих отложений.

Средняя пачка на севере I террасы по слоистости, пестрому гранулометрическому составу пород и намытым растительным остаткам сопоставлена с засоленными отложениями, вскрытыми скважинами [Слагода и др., 2014б], и отнесена к мелководным прибрежным осадкам солоноватых озер и литоральной зоны моря (см. рис. 2).

Радиоуглеродные даты в разрезе R-6 не образуют правильной последовательности. Даты из растительного “войлока” на глубине 1.65 м – 18 230–19 597 лет, на глубине 1.1 м – 27 988–28 616 лет, на глубине 0.65 м – 21 736–23 116 лет. Растительные остатки на глубине 2.0 м возрастом 29 892–30 691 лет по положению в разрезе и слоистости волновой ряби отнесены к переотложенным из подстилающих каргинских отложений. Возраст осадков в зонах действия волн и потоков, включающих как намытые, синхронные накопления, так и переотложенные древние растительные остатки, определяют самые молодые даты, поэтому средняя пачка отнесена к сартанскому периоду. Инверсия дат в разрезе, вероятно, связана с размывом каргинских и нижнесартанских отложений с растительными остатками и их переотложением в прибрежно-морском заливе, озерах на севере острова. Криогенное строение сартанских отложений обусловлено сингенетическим промерзанием во время формирования I террасы: на юге – в субаэральных условиях, на севере – в мелководных субваквальных [Баду, 2010; Слагода и др., 2014б].

Покровный слой на севере I террасы в районе полярной станции охарактеризован в работах Ю.К. Васильчука [Васильчук, Васильчук, 2015] и А.К. Васильчук [2017]. По их данным, автохтонный торф с возрастом на подошве 8500 ± 120 лет (ЛУ-1139) перекрывает сингенетически промерзавшие песчаные отложения мелких соленых озер, которые содержат полигонально-жильные льды.

Лайда, пойма протоки Рогозина на северо-западе о. Белый. В разрезах выделены нижняя пачка и покровный слой песков с автохтонным погребенным и поверхностным торфом.

Нижняя пачка на берегу протоки (разрез R-4) по гранулометрическому составу, слоистости волновой ряби в песках, линзам намытого “войлока”, наклонной слоистости в псевдоморфозе сопоставлена с прибрежно-морскими отложениями цоколя I террасы. Возраст пачки по дате из “войлока” соответствует каргинскому времени – 27 434–27 927 лет (см. табл. 2, рис. 2, А).

Покровный слой по характерной линзовидной мелковолнистой слоистости волновой ряби, частой смене наклона слоев песков, охристой окраске, присутствию прослоев автохтонного торфа и линз растительного “войлока” отнесен к субаэральным осадкам лайды, пляжа прибрежных и прирусловых отмелей протоки в зоне течений.

Радиоуглеродные даты из линзы автохтонного погребенного торфа в разрезе лайды (R-3) имеют раннеголоценовый возраст 8027–8218 лет. В разрезе поймы протоки (R-4) растительный “войлок” на той же глубине имеет позднеголоценовый возраст 3057–3274 лет. Поверхностный автохтонный торф на лайде датирован 319–680 лет и формировался в условиях подтопления морем (см. табл. 1, рис. 2, А) [Орехов и др., 2017]. Аллохтонные древесные остатки в песках с датами 27 557–28 088 и 21 465–22 721 лет переотложены при размыве террас. Отложения лайды, поймы протоки Рогозина формировались в атлантический, суббореальный и малый ледниковый периоды голоцена [Хотинский, 1977; Шполянская, 2015].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе серии калиброванных радиоуглеродных дат установлено, что II морская терраса на юге о. Белый формировалась 37.0–24.5 тыс. л.н. Многолетнемерзлую каргинскую толщу слагают отложения мелководных участков моря: на юге преобладают песчаные осадки прибрежно-морских течений и отмелей, на севере – более тонкодисперсные осадки мелководных заливов, литорали со слабым волновым воздействием. На севере острова каргинские отложения литорали, мелкого залива промерзали сингенетически, с ростом ледяных жил. Кровля каргинских отложений в разрезах II террасы расположена на абсолютных высотах до 5.5 м, в хасыряях – до 3.0 м; на I террасе – 0.5–3.0 м; на пойме протоки – 1.0 м, а на лайде ниже уреза моря. Покровный автохтонный березово-хвошево-осоковый торф со следами пучения сформирован в условиях типичной тундры 10.0–5.9 тыс. л.н. в атлантический период голоцена; слоистый песчаный осоковый торф 2.9–4.3 тыс. л.н., в период суббореального похолодания. Заращение хасыреев торфом в голоцене свидетельствует, что термокарст каргинских отложений II террасы о. Белый начался в конце сартанского периода.

Впервые получены радиоуглеродные даты, показавшие, что I терраса формировалась 24.5–18.2 тыс. л.н. Сартанские отложения залегают на неровной сниженной кровле протаявших и эпигенетически промерзших каргинских отложений. В тыловой части террасы выявлены сартанские субаэральные отложения временных водотоков, делювий, а на севере на сниженном цоколе – морские прибрежные отложения и отложения мелких солоноватых озер, которые сингенетически промерзали с образованием ледяных жил. Смена генетических типов морских и континентальных отложений фиксирует отступление моря на рубеже каргинского и сартанского времени с территории острова. Автохтонный торф в хасыряях I террасы указывает на начало зарастания озер в голоцене – около 8.5 тыс. л.н.

Лайда формировалась в оптимум голоцена около 8.2 тыс. л.н. и в малый ледниковый период голоцена 0.7–0.3 тыс. л.н., пойма протоки Рогозина – в суббореальный период около 3.0 тыс. л.н. Отложения лайды и поймы накапливались одновременно с торфом в хасыреях I и II террас.

Работа выполнена при поддержке РФФИ-ЯНАО (проект № 16-45-890257); госзадания ИКЗ ТюмНЦ СО РАН (проект IX.133.1.2).

Литература

- Абрамова А.Л.** Определитель листостебельных мхов Арктики СССР / А.Л. Абрамова, Л.И. Савич-Любичка, З.Н. Смирнова. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1961, 716 с.
Abramova, A.L., Savich-Liubitskaya, L.I., Smirnova, Z.N., 1961. Leafy Mosses of the USSR: Identification Guide. Izd. AN SSSR, Moscow; Leningrad, 716 pp. (in Russian)
- Андреева В.Ю., Калинин Г.И., Сальникова Е.Н.** Методы фармакогностического анализа лекарственного растительного сырья. Ч. 1. Правила приемки и общие методы испытаний. Томск, СибГМУ, 2008, 56 с.
Andreeva, V.Yu., Kalinkina, G.I., Salnikova, E.N., 2008. Medicinal herbs: Methods of Pharmacognostic Analysis. Part 1. Regulations for Acceptance and General Testing Methods. SibGMU, Tomsk, 56 pp. (in Russian)
- Артемяева З.С., Юртаев А.А., Александровский А.Л., Зазовская Э.П.** Органическое вещество погребенной торфяной почвы на острове Белый (Карское море) // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 2016, вып. 85, с. 36–56.
Artemieva, Z.S., Yurtaev, A.A., Alexandrovskiy, A.L., Zazovskaya, E.P., 2016. Organic matter of buried peat soil in Bely Island (Kara Sea). Bull. V.V. Dokuchaev Soil Institute 85, 36–56.
- Архипов С.А.** Хронология геологических событий позднего плейстоцена Западной Сибири // Геология и геофизика, 1997, т. 38, № 12, с. 1863–1884.
Arkhipov, S.A., 1997. Chronology of Late Pleistocene geological events in West Siberia. Russian Geology and Geophysics 38 (12), 1863–1884.
- Баду Ю.Б.** Криолитология: учеб. пособие. М., КДУ, 2010, 528 с.
Badu, Yu.B., 2010. Geocryology. Student's Manual. KDU, Moscow, 528 pp. (in Russian)
- Баранская А.В., Большианов Д.Ю., Кучанов Ю.И., Ежиков И.С., Оношко В.А.** Позднеплейстоценовые и голоценовые отложения северной части полуостровов Ямал и Гыдан // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и направления дальнейших исследований: Материалы IX совещания по изучению четвертичного периода. Иркутск, Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2015, с. 41–43.
Baranskaya, A.V., Bolshyanov, D.Yu., Kuchanov, Yu.I., Ezhikov, I.S., Onoshko, V.A., 2015. Late Pleistocene and Holocene deposits of the Yamal and Gydan peninsulas, in: Fundamental Problems of the Quaternary: Results and Prospects, in: Proc. IX Conf. on the Quaternary, Izd. Institute of Geography, Irkutsk, pp. 41–43. (in Russian)
- Баранская А.В., Романенко Ф.А.** Четвертичные отложения и палеогеография острова Белого в позднем плейстоцене и голоцене // Вопросы геоморфологии и палеогеографии морских побережий и шельфа: Материалы науч. конф. памяти П.А. Каплина / Под ред. Т.А. Яниной, Т.С. Кловиткиной. М., МГУ, 2017, с. 29–32.
Baranskaya, A.V., Romanenko, F.A., 2017. Quaternary deposits and Late Pleistocene and Holocene paleogeography of Bely Island, in: Yanina, T.A., Kluvitkina, T.S. (Eds.), Problems of Coast and Shelf Geomorphology and Paleogeography, Proc. Conf. in Memory of P.A. Kaplin, Moscow University Press, Moscow, pp. 29–32. (in Russian)
- Большианов Д.Ю.** Основные проблемы палеогеографии четвертичного периода полярных областей Земли // Всерос. науч. конф. “Тематические и междисциплинарные исследования в Арктике и Антарктике”. Сочи, 2016, с. 26.
Bolshyanov, D.Yu., 2016. Main problems of Quaternary paleogeography in the Earth's polar areas, in: Specific and Interdisciplinary Research in the Arctic and Antarctic Areas, Proc. All-Russian Conf. Sochi, p. 26 (in Russian)
- Васильчук А.К.** Палиноспектры голоценовых полигонально-жилых структур острова Белый и долины реки Тамбей на полуострове Ямал // Арктика и Антарктика, 2017, № 2, с. 1–24. http://e-notabene.ru/arctic/article_22777.html.
Vasil'chuk, A.C., 2017. Pollen spectra in Holocene ice wedges of Bely Island and the Tambei River Valley in the Yamal Peninsula. Arktika i Antarktika, No. 2, 1–24. http://e-notabene.ru/arctic/article_22777.html.
- Васильчук Ю.К., Васильчук А.К.** Достоверность наиболее молодых радиоуглеродных датировок в синкриогенных толщах многолетнемерзлых пород // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 4, с. 3–16.
Vasil'chuk, Yu.K., Vasil'chuk, A.C., 2010. Validity of the youngest radiocarbon dates in syncryogenic permafrost. Earth's Cryosphere XIV (4), 3–16.
- Васильчук Ю.К., Васильчук А.К.** Инженерно-геологические и геохимические условия полигональных ландшафтов острова Белый (Карское море) // Инж. геология, 2015, № 1, с. 50–72.
Vasil'chuk, Yu.K., Vasil'chuk, A.C., 2015. Engineering-geological and geochemical conditions of patterned ground in Bely Island (Kara Sea). Inzhenernaya Geologiya, No. 1, 50–72.
- ГОСТ 25100-2011.** Грунты. Классификация. М., Стандартинформ, 2013, 38 с.
State Standard, 2013. Working document GOST 25100-2011. Soils. Classification. Standartinform, Moscow, 38 pp. (in Russian)
- Гусев Е.А., Арсланов Х.А., Максимов Ф.Е., Молодков А.Н., Кузнецов В.Ю., Смирнов С.Б., Чернов С.Б., Жеребцов И.Е., Левченко С.Б.** Новые геохронологические данные по неоплейстоцен-голоценовым отложениям низовья Енисея // Пробл. Арктики и Антарктики, 2011, № 2 (88), с. 36–44.
Gusev, E.A., Arslanov, Kh.A., Maksimov, F.E., Molodkov, A.N., Kuznetsov, V.Yu., Smirnov, S.B., Chernov, S.B., Zherebtsov, I.E., Levchenko, S.B., 2011. New geochronological data on Late Pleistocene–Holocene deposits in the Yenisei lower reaches. Probl. Arktiki i Antarkтики 88 (2), 36–44.
- Гусев Е.А., Максимов Ф.Е., Молодков А.Н., Яржембовский Я.Д., Макарьев А.А., Арсланов Х.А., Кузнецов В.Ю., Петров А.Ю., Григорьев В.А., Токарев И.В.** Новые геохронологические данные по неоплейстоцен-голоценовым отложениям Западного Таймыра и островов Карского моря // Пробл. Арктики и Антарктики, 2016, № 3 (109), с. 74–84.
Gusev, E.A., Maksimov, F.E., Molodkov, A.N., Yarzhebbovskiy, Ya.D., Makariev, A.A., Arslanov, Kh.A., Kuznetsov, V.Yu., Petrov, A.Yu., Grigoriev, V.A., Tokarev, I.V., 2016. New geochronological data on Late Pleistocene–Holocene deposits in West Taimyr and Kara Sea islands. Probl. Arktiki i Antarkтики 109 (3), 74–84.

- Занина О.Г.** Ископаемые норы грызунов из мерзлых позднеллейстоценовых отложений Колымской низменности // Зоол. журн., 2005, № 85 (6), с. 133–140.
Zanina, O.G., 2005. Fossil burrows of rodents in frozen Late Pleistocene deposits in the Kolyma plain. Zoologicheskii Zhurnal 85 (6), 133–140.
- Кац Н.Я.** Атлас растительных остатков в торфах / Н.Я. Кац, С.В. Кац, Е.И. Скобева. М., Недра, 1977, 376 с.
Kats, N.Ya., Kats, S.V., Skobeeva, E.I., 1977. Plant Remnants in Peat. An Atlas. Nedra, Moscow, 376 pp. (in Russian)
- Кузнецова А.О., Афонин А.С., Попов К.А., Орехов П.Т., Тихонравова Я.В., Слагода Е.А.** Ботанический состав погребенного торфа как индикатор изменения ландшафтов на о. Белый Карского моря // Материалы XI Междунар. симп. по проблемам инженерного мерзлотоведения. Магадан, Изд-во ИМЗ СО РАН, 2017, с. 259–260.
Kuznetsova, A.O., Afonin, A.S., Popov, K.A., Orekhov, P.T., Tikhonravova, Ya.V., Slagoda, E.A., 2017. The botanical composition of buried peat as evidence of landscape changes in Bely Island, Kara Sea, in: Proc. XI Intern. Conf. on Engineering Permafrost Research. Institute of Permafrost, Magadan, pp. 259–260. (in Russian)
- Моргун Е.Г., Ковда И.В., Рысков Я.Г., Олейник С.А.** Возможности и проблемы использования методов геохимии стабильных изотопов углерода в почвенных исследованиях (обзор литературы) // Почвоведение, 2008, № 3, с. 299–310.
Morgun, E.G., Kovda, I.V., Ryskov, Ya.G., Oleinik, S.A., 2008. Possibility and problems in the use of carbon isotope geochemistry in soil studies (review of literature). Pochvovedenie, No. 3, 299–310.
- Облогов Г.Е.** Эволюция криолитозоны побережья и шельфа Карского моря в позднем неоплейстоцене–голоцене: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Тюмень, 2015, 24 с.
Oblogov, G.E., 2015. Latest Pleistocene–Holocene Evolution of Permafrost in the Kara Shelf and Coast. Author's Thesis, Candidate of Science (Geology and Mineralogy). Tyumen, 24 pp. (in Russian)
- Опокина О.Л., Слагода Е.А., Стрелецкая И.Д., Сулова М.Ю., Томберг И.В., Ходжер Т.В.** Криолитология, гидрохимия и микробиология голоценовых озерных и повторно-жильных льдов о. Сибирякова Карского моря // Природа шельфов и архипелагов Европейской Арктики. М., ГЕОС, 2010, вып. 10, с. 241–247.
Opokina, O.L., Slagoda, E.A., Streletskaya, I.D., Suslova, M.Yu., Tomberg, I.V., Khodzher, T.V., 2010. Permafrost, water chemistry, and microbiology of Holocene lake ice and ice wedges of Sibiriyakov Island in the Kara Sea, in: The Nature of the European Arctic Shelves and Archipelagoes, GEOS, Moscow, Issue 10, pp. 241–247.
- Орехов П.Т., Попов К.А., Слагода Е.А., Курчатова А.Н., Тихонравова Я.В., Опокина О.Л., Симонова Г.В., Мелков В.Н.** Бугры пучения острова Белый в прибрежно-морской обстановке Карского моря // Криосфера Земли, 2017, т. XXI, № 1, с. 46–56.
Orekhov, P.T., Popov, K.A., Slagoda, E.A., Kurchatova, A.N., Tikhonravova, Ya.V., Opokina, O.L., Simonova, G.V., Melkov, V.N., 2017. Frost mounds of Bely island in coastal marine settings of the Kara sea. Earth's Cryosphere XXI (1), 41–51.
- Панин А.В.** Методы палеогеографических исследований: четвертичная геохронология. М., МГУ, 2014, 116 с.
Panin, A.V., 2014. Methods of Paleogeographic Research: Quaternary Geochronology. Moscow University Press, Moscow, 116 pp. (in Russian)
- Прейс Ю.И., Симонова Г.В., Слагода Е.А.** Детальная стратиграфия и динамика хасырея Центрального Ямала в верхнем голоцене // Изв. Том. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов, 2016, т. 327, № 10, с. 35–49.
Preis, Yu.I., Simonova, G.V., Slagoda, E.A., 2016. Detailed Late Holocene stratigraphy and dynamics of a khasyrei in the Central Yamal. Bull. Tomsk Politekh. Univ. Engin. Geores. 327 (10), 35–49.
- Ребристая О.В.** Флора полуострова Ямал: современное состояние и история формирования. СПб., Изд-во СПб-ГЭТУ “ЛЭТИ”, 2013, 311 с.
Rebristaya, O.V., 2013. Flora of the Yamal Peninsula: Modern State and Formation History. SPb-GTU LTI, St. Petersburg, 311 pp. (in Russian)
- Слагода Е.А., Лейбман М.О., Хомутов А.В., Орехов П.Т.** Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море (Часть 1) // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 4, с. 11–21.
Slagoda, E.A., Leibman, M.O., Khomutov, A.V., Orekhov, P.T., 2013. Cryolithologic construction of the first terrace at Bely Island, Kara sea (Part 1). Earth's Cryosphere XVII (4), 11–21.
- Слагода Е.А., Курчатова А.Н., Попов К.А., Томберг И.В., Опокина О.Л., Никулина Е.Л.** Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море: микростроение и признаки криолитогеоза (Часть 2) // Криосфера Земли, 2014а, т. XVIII, № 1, с. 12–22.
Slagoda, E.A., Kurchatova, A.N., Popov, K.A., Tomberg, I.V., Opokina, O.L., Nikulina, E.L., 2014a. Cryolithologic structure of the first terrace: microstructure and evidence of cryolithogenesis, Bely Island, Kara Sea (Part 2). Earth's Cryosphere XVIII (1), 12–22.
- Слагода Е.А., Курчатова А.Н., Опокина О.Л., Томберг И.В., Ходжер Т.В., Фирсова А.Д., Родионова Е.В., Попов К.А., Никулина Е.Л.** Криолитологическое строение первой террасы острова Белый в Карском море: геокриологическая история и изменения природных условий (Часть 3) // Криосфера Земли, 2014б, т. XVIII, № 3, с. 33–45.
Slagoda, E.A., Kurchatova, A.N., Opokina, O.L., Tomberg, I.V., Khodzher, T.V., Firsova, A.D., Rodionova, E.V., Popov, K.A., Nikulina, E.L., 2014b. Cryolithological structure of the first terrace: geocryological history and changes of environment, Bely Island, Kara Sea (Part 3). Earth's Cryosphere XVIII (3), 32–43.
- Тихонравова Я.В., Орехов П.Т., Попов К.А.** Литогенетические типы отложений острова Белый (Карское море) // Материалы Пятой конф. геокриологов России. М., Унив. книга, 2016, т. 2, ч. 7, с. 321–326.
Tikhonravova, Ya.V., Orekhov, P.T., Popov, K.A., 2016. Lithogenetic types of sediments on Bely Island, Kara Sea, in: Proc. 5th Conf. Geocryologists of Russia, Univ. Kniga, Volume 2 (7), pp. 321–326. (in Russian)
- Тюремнов С.Н.** Торфяные месторождения и их разведка / С.Н. Тюремнов, И.Ф. Ларгин, С.Ф. Ефимова и др. М., Недра, 1977, 264 с.
Tyuremnov, S.N., Largin, I.F., Efimova, S.F., et al., 1977. Peat deposits and their Exploration. Nedra, Moscow, 264 pp. (in Russian)
- Унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Западно-Сибирской равнины / Ред. В.С. Волкова, А.Е. Бабушкин.** Новосибирск, СНИИГ-ГиМС, 2000, 64 с.
Volkova V.S., Babushkin A.E. (Eds.), 2000. Unified Regional Quaternary Stratigraphy of the West Siberian Plain. SNIIG-GiMS, Novosibirsk, 64 pp. (in Russian)
- Фролов В.Т.** Литология. Кн. I. М., Изд-во Моск. ун-та, 1992, 336 с.
Frolov, V.T., 1992. Lithology. Book I. Moscow University Press, Moscow, 336 pp. (in Russian)

Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М., Наука, 1977, 200 с.

Khotinskiy, N.A., 1977. The Holocene of Northern Eurasia. Nauka, Moscow, 200 pp. (in Russian)

Шполянская Н.А. Плейстоцен-голоценовая история развития криолитозоны Российской Арктики “глазами подземных льдов”. М.; Ижевск, Ин-т компьютер. исслед., 2015, 344 с.

Shpolanskaya, N.A., 2015. The Pleistocene–Holocene History of Permafrost in the Russian Arctic, by Ground Ice. Institute of Computing Science, Izhevsk, 344 pp. (in Russian)

Aiken, S.G., Dallwitz, M.J., Consaul, L.L., et al. Canadian Arctic Archipelago. 2011 [Электронный ресурс]. – URL: <http://calib.org/calib/calib.html> (дата обращения: 25.04.2017).

Program Calib Rev 7.0.4. CALIB RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM* Copyright 1986–2017; Stuiver, M., and Reimer, P.J., 1993, Radiocarbon, 35, 215–230. – URL: <http://calib.org/calib/calib.html> (дата обращения: 25.04.2017).

Reimer, P.J., Bard, E., Bayliss, A., et al. IntCal13 and MARINE13 radiocarbon age calibration curves 0–50 000 years cal BP // Radiocarbon, 2013, No. 55 (4), p. 1869–1887.

Stuiver, M., Reimer, P.J., Reimer, R.W. CALIB 7.0.4 Manual.2013 [Электронный ресурс]. – URL: <http://calib.org/calib/calib.html> (дата обращения: 25.04.2017).

*Поступила в редакцию
18 сентября 2017 г.*