

БОРЕАЛЬНАЯ ТРАНСГРЕССИЯ В ЮГО-ВОСТОЧНОМ БЕЛОМОРЬЕ: НОВЫЕ ДАННЫЕ И ТРАНС-ЕВРАЗИЙСКИЕ КОРРЕЛЯЦИИ

Н.Е. Зарецкая¹, Е.Е. Талденкова², О.В. Руденко³, Я.С. Овсепян⁴

¹Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, Орел, Россия

⁴Геологический институт Российской академии наук, Москва, Россия

Аннотация. Представлены новые данные о возрасте и составе отложений последней межледниковой трансгрессии Белого моря. Прослежены закономерности распространения трансгрессии по побережью Северной Евразии, от Балтики до Японского моря, проведено сравнение оценок возраста (от 140 до 70 тыс. лет назад), строения и высотного распространения её отложений.

Ключевые слова: Белое море, последнее межледниковье, бореальная трансгрессия, микропалеонтологические исследования, датирование.

BOREAL TRANSGRESSION IN THE SOUTH-EASTERN WHITE SEA REGION: THE NEW DATA AND TRANS-EURASIAN CORRELATIONS

N.E. Zaretskaya¹, E.E. Taldenkova², O.V. Rudenko³, Ya.S. Ovsepyan⁴

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

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Orel State University named after I.S. Turgenev, Orel, Russia

⁴Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The new data on the age and sedimentary composition of the Last Interglacial transgression of the White Sea are presented. The pattern of the transgression distribution along the coast of Northern Eurasia, from the Baltic to the Sea of Japan, are traced; age estimation (from 140 to 70 thousand years ago), structure and altitudinal distribution of its sediments are compared.

Keywords: White Sea, Last Interglacial, Boreal transgression, micropalaeontological studies, dating.

Введение. Бореальная трансгрессия морей Арктического бассейна ознаменовала собой окончание максимального среднеледниковой оледенения и наступление последнего межледниковья на рубеже морских изотопных стадий (МИС) 6 и 5. Термин "бореальная трансгрессия" был предложен М.А. Лавровой [8], из-за большого количества бореальных видов морских моллюсков, хорошо сохранившиеся раковины которых были ею в изобилии найдены в соответствующих слоях в долине р. Северной Двины. В процессе изучения морских отложений в XX-XXI веках было установлено, что трансгрессия имела гляциоэвстатическую природу, во время её распространения Белое и Балтийское моря образовывали единый бассейн [15, 21, 28], она синхронна земской трансгрессии в Западной Европе [30, 15] и казанцевской/каргинской на побережье Баренцева и Карского морей [13]. Возраст трансгрессии по результатам использования разных методов соответствует хроноинтервалу 140-100 тысяч лет назад (т.л.н.) [19, 27], охватывая конец морской изотопной стадии (МИС) 6 и МИС 5e-d. Стратиграфически отложения бореальной трансгрессии залегают в подошве микулинского, сулинского или казанцевского/каргинского горизонтов [18, 31, 3].

Во время исследований, проводившихся нами в 2020-2022 годах на Зимнем берегу Белого моря, в береговых разрезах впервые были установлены отложения бореальной трансгрессии, получены новые данные о её возрасте, обстановках осадконакопления и

палеоэкологических условиях. Ниже эти данные представлены в контексте развития побережий северной Евразии в начале последнего межледникового.

Материалы и методы. Материалы для исследований были получены в ходе полевых работ на Зимнем берегу Белого моря, где в береговых обнажениях были изучены пять разрезов: Ущеменский, Конецгорье, Ершиха, Майда и Толстый нос [5]. Проводилось литостратиграфическое изучение и описание разрезов, отбор образцов для палинологического и микропалеонтологического анализов, а также оптико-люминесцентного датирования. Привязка слоёв и образцов к шкале высот проводилась с помощью ГНСС-приёмника.

Палинологическим методом изучены пыльца, споры и непыльцевые (водные) палиноморфы двух различных экологических групп: морские цисты динофлагеллат и пресноводные колониальные микроводоросли. Таксономическая идентификация пыльцы и спор проведена с помощью атласов [7, 14], водных палиноморф – ключей к определению современных диноцист [<https://www.marum.de/en/Karin-Zonneveld/Modern-Dinocyst-Key.html>]. Процентные доли пыльцы, спор и водных палиноморф рассчитаны от суммы (AP+NAP) пыльцы деревьев и кустарников (AP) и травянистых растений (NAP), принятой за 100%. Переотложенные дочетвертичные пыльца и споры подсчитаны в дополнение, их процентная доля в спектре показана от общей суммы микрофоссилий в образце. Методическую основу палеогидрологических реконструкций составили данные о вариациях ассоциаций диноцист и их распространении в поверхностных осадках Белого моря в зависимости от основных гидрологических параметров фотического слоя вод [9].

Анализ ископаемых фораминифер (бентосных и планктонных) и остракод проводился под бинокулярным микроскопом во фракции >125 мкм промытого осадка. Общая численность микрофоссилий определена как количество экземпляров на 100 г сухого непромытого осадка. Процентное содержание видов подсчитывалась только в образцах, содержащих более 50 экземпляров. Параллельно с изучением микрофауны под бинокуляром проводился подсчет крупнозернистых терригенных обломков во фракции >500 мкм, их общая численность выражена в виде количества экземпляров на 1 г сухого непромытого осадка.

Оптико-люминесцентное датирование проводилось в лаборатории ОСЛ-датирования Института им. Карпинского (г. Санкт-Петербург) по принятой там методике [27].

Результаты. Отложения бореальной трансгрессии в разрезах Зимнего берега представлены двучленной толщей: нижней пачкой тонкозернистых осадков и перекрывающими ее песками. Нижняя пачка представлена алевролитистой тёмно-серой глиной, иногда с включениями обломочного материала размерностью от гравия до мелких валунов разной степени окатанности (разрезы Конецгорье и Толстый Нос), раковинами двустворчатых моллюсков в кровле (семейство *Mytilidae*) (разрез Ущеменский) и неопределимым ракушечным детритом в толще слоя (разрезы Майда, Толстый Нос и Конецгорье). Подошва глины находится ниже уровня моря, мощность слоя варьирует от 3 до 15 м. Литологический анализ показал разную насыщенность глин крупнозернистым материалом; содержание терригенных обломков >500 мкм в среднем высокое в осадках разреза Конецгорье (до 100-120 экз./г), в Ущеменском оно снижается до 40-80 экз./г, в Майде не превышает 30 экз./г, а остальных двух разрезах обломки практически отсутствуют [5].

В этом слое обнаружены микрофоссилии, основную часть которых составляют бентосные фораминиферы (БФ). Единичные раковины остракод видов *Normanicythere leioderma*, *Rabilimis mirabilis*, *Krithe glacialis* и *Sarsicytheridea punctillata* найдены только в разрезе Ущеменский, а единичные планктонные фораминиферы вида *Turborotalita quinqueloba* – в осадках разрезов Майда и Толстый Нос. Общая численность БФ низкая, варьирует от 3 экз./100 г до 817 экз./100 г. Среди БФ преобладает оппортунистический арктический вид *Elphidium clavatum* (20-44%), до одной трети может доходить доля как нормально морских видов внешнего шельфа (13-33%), так и видов опресненного мелководного шельфа (13-32%) (согласно классификации [25]).

Палинологические данные, пока предварительные, получены по разрезам Конецгорье и Ущеменский. Концентрация пыльцы и водных палиноморф крайне низкая. Переотложенные

пыльца и споры дочетвертичного возраста составляют более 65-90%, доминируют пыльца мезозойских хвойных и палеозойские *Vittatina*, *Striatohaploxypinities*. В разрезе Конецгорье процентные соотношения не вычислялись ввиду нерепрезентативности насчета (менее 100 зерен, включая переотложенные дочетвертичные). В разрезе Ущеменский основу позднеоплейстоценовой части спектров составляет пыльца *Pinus sylvestris* (как правило, более 50%), в значительно меньшем количестве присутствует пыльца *Picea*, кустарничков *Betula nana*-type, *Ericales*, единично – *Alnaster fruticosus*. В группе пыльцы травянистых растений доминируют *Artemisia* и *Poaceae*, часто встречаются *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*, *Polygonaceae*, *Chenopodiaceae*. В группе пресноводных палиноморф доминанты – *Pediastrum kawraiskii* и *P. boryanum*, значительно меньше *Botryococcus braunii*. Цисты морских динофлагеллат более многочисленны и разнообразны по составу, представлены преимущественно фотосинтезирующими *Operculodinium centrocarpum*, *Spiniferites elongatus*, *Nematosphaeropsis labyrinthus*, хотя единично встречены арктические криофилы и индикаторы значительной продолжительности ледового покрова (более шести месяцев в году), в частности *Echinidinium karaense*, *Islandinium minutum*.

В кровле слоя глины может лежать гравийно-галечная отмостка, по которой идёт вода, сама кровля может быть наклонной или горизонтальной. Если отмостка отсутствует, то на глинах залегают песчаные или ритмично-слоистые песчано-алевритовые отложения. Песчаная толща мощностью от 2 до 7 м, как правило, состоит из нескольких пачек: крупно-грубозернистый косослоистый песок с гравием, галькой и обломками раковин, мелко-тонкозернистый песок с горизонтальной или скрытой слоистостью, или со слоистостью типа «знаки ряби» и «хребет селёдки». Ритмично-слоистая толща представлена тонкопереслаивающимся тонкозернистым песком и глинистым алевритом (толщина пар от 1-2 мм до 10 см); присутствуют более мощные (до 40 см) прослои песка со знаками ряби и обломками раковин. Микрофоссилии из этого слоя были найдены только в разрезе Ущеменский и представлены БФ общей численностью 46-387 экз./100 г. Здесь отмечено максимальное содержание оппортунистического вида *E. clavatum* – 47-51%. Из отложений, перекрывающих глины, получен массив ОСЛ-дат, располагающихся в интервале 174-83 (т.л.н.); основной массив сосредоточен в интервале 118-104 т.л.н. [5].

Обсуждение. Бореальная трансгрессия в Белом море началась в конце МИС 6, когда после снятия ледниковой нагрузки ещё не произошла компенсация гляциоизостатического прогиба. По данным палиностратиграфии, возраст начала бореальной трансгрессии в восточном Беломорье оценивался в 133 т.л.н. [16], а по последним данным, полученным по разрезам на южном берегу Кольского полуострова, ~140 т.л.н. [19], что примерно соответствует времени глобального подъёма уровня моря во время перехода от среднеоплейстоценового криохрона к последнему межледниковью (~ 131 т.л.н. [20]).

Ранней стадии бореальной трансгрессии, которая в Белом море отличалась резким подъёмом уровня воды в условиях холодного позднеледникового климата, соответствует алевритистая глина в подошвах разрезов Зимнего берега. Это подтверждается её литологическим составом – присутствием крупных обломков и значительной опесчаненностью, что, по-видимому, можно объяснить размывом ещё не сцементированных ледниковых отложений. Значительная доля переотложенной пыльцы и спор дочетвертичного возраста в палиноспектрах также свидетельствует о динамичной седиментационной обстановке [5].

Состав бентосной микрофауны в изученных глинистых отложениях ранней стадии затопления, и, прежде всего, большая доля видов, характерных для относительно глубоководных районов внешнего шельфа арктических морей, как среди фораминифер, так и среди остракод, указывает на то, что в начале трансгрессии вдоль всего Зимнего берега существовали приглубые зоны арктического бассейна с глубинами 50 и более метров. Находка единичных раковин планктонных фораминифер *T. quinqueloba* и присутствие многочисленных цист фотосинтезирующих динофлагеллат могут свидетельствовать о проникновении подповерхностных атлантических вод. В то же время, наличие видов БФ,

характерных для опресненных районов внутреннего шельфа, и оппортунистического вида *E. clavatum*, а также присутствие в значительных количествах пресноводных микроводорослей рода *Pediastrum* позволяют предположить, что эти приглубые зоны арктического бассейна располагались вблизи берега, характеризовались достаточно высокими скоростями осадконакопления и значительной стратификацией за счет притока талых вод. О том, что алевритистые глины Зимнего берега накапливались в самом начале трансгрессии, свидетельствуют и первые данные о составе палинокомплексов из их верхней части, в которых отсутствует индикаторная пыльца широколиственных растений, а общий таксономический состав палиноспектров отражает распространение по побережью ландшафтов перигляциального и переходного к межледниковому типов [5].

Регрессия, согласно данным по разрезу Бычье-2 на р. Пёзе (Мезенский залив Белого моря), началась в регионе рано, около 130 т.л.н. [12], что говорит об опережающем гляциоизостатическом поднятии территории по отношению к глобальному эвстатическому подъему уровня моря, который достиг своего максимального подъема около 128 ± 1 т.л.н. В разрезах Зимнего берега песчаная толща, перекрывающая алевритистые глины, накапливалась на более поздней стадии развития бореального моря, судя по литологическому составу отложений (гравий и песок), характерной для прибрежно-морских отложений слоистости (косая, горизонтальная, со знаками ряби и «хребет селёдки») и полученным по ним ОСЛ-датировкам, основной массив которых укладывается в интервал времени от 118 до 104 т.л.н. [5]. Увеличение содержания пыльцы осок и ели в палиноспектрах из песчаной толщи отражает условия значительно более влажного климата, видимо, благодаря возросшему морскому влиянию.

Несмотря на обширный материал, накопленный разными исследователями и касающийся природных обстановок последнего межледниковья на побережье Северной Евразии, представления о ходе, возрасте и стадийности трансгрессии различаются. Возраст проникновения морских вод в западную Балтику через район Кильского канала и Датские проливы и далее на восток определен в примерном диапазоне 132-130 т.л.н. [15]. В восточной Балтии возраст ледниково-морских/озерно-ледниковых и морских отложений в Приневской низменности, вмещающих палинокомплексы, соответствующие всем палинозонам микулинского межледниковья, по данным ОСЛ-датирования оценивается в 133-109 т.л.н. При этом мелководный опресненный морской бассейн начальной стадии затопления сменялся более глубоким с выраженной гипоксией придонных вод, сохранявшейся и в последующую регрессивную стадию [27, 28]. К востоку от Зимнего берега, в опорном разрезе Бычье-2 на р. Пёзе накопление морских бореальных отложений, судя по данным палиностратиграфии, происходило с конца московского оледенения (древнее 131 т.л.н.) до примерно 119.5 т.л.н. [11, 12, 29].

В низовьях Печоры, Оби и Енисея морская трансгрессивная межледниковая толща – сулинский горизонт – является основным межрегиональным маркером 67-70-й параллели, для неё характерна атлантическая (аркто-бореальная) малакофауна, а возраст определён ОСЛ, ЭПР и уран-ториевым методами в интервале 140-100 т.л.н. [13]. Для низовьев Енисея для отложений последнего межледниковья традиционно принято название «казанцевский горизонт» [2]: здесь в серии разрезов вскрывается двучленная толща, нижняя пачка представлена песчано-суглинистой фацией устойчивой трансгрессии, верхняя – песчано-гравийными и галечными прибрежными фациями. U-Th, ИК-ОСЛ, ОСЛ и ЭПР даты располагаются в диапазоне 120-70 т.л.н. [3]. Каргинские (бывшие казанцевские) морские отложения в бассейнах рек Б. Хеты и Танама представлены глинисто-алевритистыми и песчаными отложениями, с ОСЛ датами от 147 до 97 т.л.н. и разнообразными комплексами морских моллюсков с наличием теплолюбивых видов, в том числе *Arctica islandica* [24]. На побережье Таймыра морские каргинские отложения представлены алевритистыми глинами с ископаемым комплексом моллюсков, включающим как типичные арктические, так и субарктические элементы [23]. Морские отложения возраста МИС 6 - МИС 5е установлены на Северной Земле в виде пляжевых осадков на высотах 125-140 м и в разрезах на высотах около

80 м; даты, полученные разными методами, лежат в диапазоне от < 160 до > 90 т.л.н.; морские отложения содержат ископаемые комплексы моллюсков и БФ, характерные для приглубых районов арктических шельфов [22].

По побережью Восточно-Сибирского моря прослеживается так называемая «коньковская свита», представленная алевритами и мелкозернистыми песками. По данным микрофаунистического и диатомового анализов она соотносится с последней обширной трансгрессией конца среднего – начала позднего неоплейстоцена и маркирует южную границу межледникового моря [4]. На побережье Чукотки к началу позднего неоплейстоцена относятся валькатленские, морские, преимущественно песчаные отложения, слагающие террасы высотой до 30 м и содержащие холодноводный арктический комплекс моллюсков с небольшим количеством тепловодных видов в верхних регрессивных слоях [10]. По результатам корреляции с зональной диатомовой шкалой на побережье Малой Курильской гряды выделены трансгрессивные отложения последнего межледниковья. Они характеризуют три фазы трансгрессии, сопоставляемые с МИС 5е, 5с и 5а, в течение которых накапливались лагунные и пляжевые отложения [26], при этом максимальный подъем относительного уровня моря (по некоторым оценкам до 10-12 м) реконструируется для ранней фазы. На российском побережье Японского моря выделяются террасовые уровни, сопоставляемые с последней межледниковой трансгрессией, что подтверждается данными спорово-пыльцевого и диатомового анализов; согласно реконструкциям, максимальный подъем уровня моря не превышал современный более, чем на 10 м [6].

Выводы.

Таким образом, отложения морской трансгрессии последнего межледниковья прослеживаются по всему побережью Северной Евразии, от Балтики до Японского моря. В области развития максимального среднеоплейстоценового оледенения эти отложения имеют большую мощность и площадь распространения в связи с гляциоизостатическим эффектом: здесь произошло быстрое затопление обширных территорий после снятия ледниковой нагрузки, и бореальное море было относительно глубоким. Это отразилось и на составе отложений ранней стадии трансгрессии – большое количество обломочного материала в алевритистой глине было обусловлено размывом морскими водами неконсолидированной морены.

В целом следует отметить, что морские отложения последнего межледниковья имеют двучленное строение – нижняя толща формировалась в более глубоководной среде в раннюю фазу трансгрессии в условиях холодного климата конца МИС 6, верхняя – в прибрежно-морских обстановках, в межледниковых условиях. Высотное положение древних береговых линий определялось как гляциоизостатическими, так и тектоническими причинами; в условиях стабильной тектонической обстановки их высота над современным уровнем моря не превышает 10-12 м.

Финансирование. Исследование проведено в рамках выполнения Госзадания ИГ РАН FMWS-2024-0003.

Литература

1. Гудина В.И., Крюков В.Д., Левчук Л.Е., Судаков Л.А. Верхнеплейстоценовые отложения северо-восточного Таймыра // Бюлл. комиссии по изуч. четв. периода. 1983. № 52. С. 90-97.
2. Гусев Е.А., Максимов Ф.Е., Молодьков 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 островам Карского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2016. № 3(109). С. 74-84.
3. Гусев Е.А., Яржембовский Я.Д., Макарьев А.А., Молодьков А.Н., Максимов Ф.Е.,

Куприянова Н.В., Костромина Н.А., Руденко О.В., Крылов А.В., Шарин В.В., Шарапова А.Ю. Четвертичные отложения Притаймырских островов Карского шельфа // Геология и геофизика. 2023. Т. 64. № 5ю С. 706–719. doi: 10.15372/GiG2022130

4. Занина О.Г., Лопатина Д.А., Овсепян Я.С., Кузьмина С.А., Степанова А.Ю., Талденкова Е.Е., Вишневская Т.А., Ривкина Е.М. Развитие природной среды на мысе Малый Чукочий (Колымская низменность) в среднем-позднем неоплейстоцене: реконструкция по микропалеонтологическим данным // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2022. Т. 30. № 1. С. 94–114, doi: 10.31857/S0869592X22010082

5. Зарецкая Н.Е., Талденкова Е.Е., Овсепян Я.С., Ручкин М.В., Баранов Д.В., Руденко О.В., Степанова А.Ю. Первые данные о палеогеографических обстановках и хронологии последнего межледникового на Зимнем берегу Белого моря // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512. № 2. С. 152–158. doi: 10.31857/S2686739723601308

6. Короткий А.М., Гребенникова Т.М., Караулова Л.П., Мохова Л.М. Позднечетвертичные морские отложения Восточного Приморья (Японское море) // Тихоокеанская геология. 2006. Т. 25. № 2. с. 57-72.

7. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца двудольных флоры Европейской части СССР. Л.: Наука. 1972. 438 с.

8. Лаврова М.А. О стратиграфии четвертичных отложений Северной Двины от устья р. Ваги до Конецгорья // Труды совещания секции ассоциации по изучению четвертичного периода INQUA. 1937. вып. 1. С. 152-173.

9. Новичкова Е.А., Полякова Е.И. Палеогидрологические изменения в Белом море за исторический период времени на основе анализа цист динофлагелат // Доклады РАН. 2008. Т. 422. № 6. С. 819-822.

10. Петров О.М. Стратиграфия и фауна морских моллюсков четвертичных отложений Чукотского полуострова. М.: Наука. 1966. 290 с.

11. Руденко О.В., Талденкова Е.Е., Баух Х.А., Овсепян Я.С. Новые данные к палинostrатиграфии микулинских (эемских) отложений в низовьях реки Пеза (северо-восток Беломорского региона) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. N. 69 (2). С. 206-227. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-2-206-227>

12. Талденкова Е.Е., Овсепян Я.С., Руденко О.В., Баух Х.А. Изменения природной среды в ходе развития бореальной трансгрессии на северо-востоке Белого моря на примере детального изучения разреза Бычье-2 // Вестник Моск. Ун-та. сер. 5. География. 2023. N. 78. № 4. С. 51-65. doi: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.4.5

13. Astakhov V.I. Late Pleistocene correlations in glaciated Russia // Quat. Int. 2024. V. 688. P. 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2024.01.014>

14. Beug H.J. Leitfaden der Pollenbestimmung. Munchen: Verlag Dr. Friedrich Pfeil. 2004. 542 p.

15. Funder S., Demidov I.N., Yelovicheva Y. Hydrography and mollusc faunas of the Baltic and the White Sea-North Sea seaway in the Eemian // Palaeogeogr., Palaeoclim., Palaeoecol. 2002. V. 184 (3–4). P. 275–304. [https://doi.org/10.1016/S0031-0182\(02\)00256-0](https://doi.org/10.1016/S0031-0182(02)00256-0)

16. Grøsfjeld K., Funder S., Seidenkrantz M.-S., Glaister K. Last Interglacial marine environments in the White Sea region, northwestern Russia // Boreas. 2006. V. 35(3) P. 493–520. doi: 10.1080/03009480600781917

17. Ikonen L., Ekman I. Biostratigraphy of the Mikulino interglacial sediments in NW Russia: the Petrozavodsk site and a literature review. Annales Academiae Scientiarum Fennicae A III Geologica-Geographica. 2001. V. 161. P. 1–88.

18. Korsakova O.P. Formal stratigraphy of the Neopleistocene (Middle and Upper/Late Pleistocene) in the Kola region, NW Russia // Quat. Int. 2019. V. 534. P. 42–59. doi: 10.1016/j.quaint.2019.03.007

19. Korsakova O.P., Molodkov A.N., Zaretskaya N.E., Grigoriev V.A. Sedimentologic successions and chronology of the late Pleistocene deposits on the southern Kola Peninsula, northern Europe // Quat. Res. 2024. doi:10.1017/qua.2024.24

20. Lambeck K., Purcell A., Funder S., Kjær K.H., Larsen E., Möller P. Constraints on the Late Saalian to early Middle Weichselian ice sheet of Eurasia from field data and rebound modelling // *Boreas*. 2006. V. 35(3). P. 539–575. <https://doi.org/10.1080/03009480600781875>
21. Miettinen A., Head M.J., Knudsen K. Eemian sea-level highstand in the eastern Baltic Sea linked to long-duration White Sea connection // *Quat. Sci. Rev.* 2014. V. 86. P. 158–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.12.009>
22. Möller P., Lubinski D.J., Ingólfsson Ó., Forman S.L., Seidenkrantz M.-S., Bolshiyarov D.Yu., Lokrantz H., Antonov O., Pavlov M., Ljung K., Zeeberg J., Andreev A. Severnaya Zemlya, Arctic Russia: a nucleation area for Kara Sea ice sheets during the Middle to Late Quaternary // *Quat. Sci. Rev.* 2007. V. 25 (21-22). P. 2894-2936. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2006.02.016>
23. Möller P., Benediktsson I.Ö., Anjar J., Bennike O., Bernhardson M., Funder S., Håkansson L.M., Lemdahl G., Licciardi J.M., Murray A.S., Seidenkrantz M.-S. Glacial history and palaeoenvironmental change of southern Taimyr Peninsula, Arctic Russia, during the Middle and Late Pleistocene // *Earth-Sci. Rev.* 2019. V. 196. 102832. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.004>
24. Nazarov D.V., Nikolskaia O.A., Gladysheva A.S., Zhigmanovskiy I.V., Ruchkin M.V., Merkuljev A.V., Thomsen K.J. Evidence for the intrusion of marine Atlantic waters into the West Siberian Arctic during the Middle Pleistocene // *Boreas*. 2021. <https://doi.org/10.1111/bor.12558>
25. Polyak L., Korsun S., Febo L. A., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B. E., Lubinski, D.J. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced Arctic marine environment // *J. Foraminiferal Res.* 2002. V. 32 (3) P. 252–273. <https://doi.org/10.2113/32.3.252>
26. Razjigaeva N.G., Ganzey L.A., Grebennikova T.A., Belyanina N.I., Kuznetsov V.Yu., Maksimov F.E. Last interglacial climate changes and environments of the Lesser Kuril arc, north-western Pacific // *Quat. Int.* 2011. V. 241. P. 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.02.002>
27. Ruchkin M.V., Nosevich E.S., Sheetov M.V., Brill D. Stratigraphy and OSL chronology of the Middle–Upper Pleistocene sedimentary sequence and vegetation history during the Late MIS6 – MIS5e in the Neva Lowland (St. Petersburg Region, Russia) // *J. Quat. Sci.* 2024. V. 39(5). P. 745–764. doi: 10.1002/jqs.3618
28. Ruchkin M.V., Sheetov M.V., Taldenkova E.E., Pushina Z.V., Dudanova V.I., Ovsepyan Ya.S., Konstantinov E.A., Nosevich E.S., Mustafin M.A. Paleohydrological changes in the eastern Baltic Sea during the Middle/Late Pleistocene transition and the Last Interglacial // *Quat. Sci. Rev.* 2025. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2025.109244>
29. Taldenkova E., Ovsepyan Ya., Rudenko O., Stepanova A., Bauch H.A. Boreal (Eemian) transgression in the northeastern White Sea Region: Multiproxy evidence from Bychye-2 section // *Quaternary*. 2024. V. 7 (3). <https://doi.org/10.3390/quat7010003>
30. Zagwijn W.H. An analysis of Eemian climate in western and central Europe // *Quat. Sci. Rev.* 1996. V. 15. P. 451–469. [https://doi.org/10.1016/0277-3791\(96\)00011-X](https://doi.org/10.1016/0277-3791(96)00011-X)
31. Zaretskaya, N.E., Rybalko, A.E., Repkina, T.Yu., Shilova, O.S., Krylov, A.V. Late Pleistocene in the southeastern White Sea and adjacent areas (Arkhangelsk region, Russia): stratigraphy and palaeoenvironments // *Quat. Int.* 2021. V. 605-606. P. 126-141., <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.10.057>