

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Агафонова Е.А., Полякова Е.И., Романенко Ф.А. — Диатомовые водоросли в голоценовых отложениях Терского берега Белого моря в связи с историей его развития в послеледниковое время // Арктика и Антарктика. – 2020. – № 2. DOI: 10.7256/2453-8922.2020.2.32632 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=32632

Диатомовые водоросли в голоценовых отложениях Терского берега Белого моря в связи с историей его развития в послеледниковое время

Агафонова Елизавета Андреевна

аспирант, МГУ им. МВ. Ломоносова, географический факультет, НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ AgafonovaElizaveta@mail.ru



Полякова Елена Ивановна

доктор географических наук

ведущий научный сотрудник, МГУ им. МВ. Ломоносова, географический факультет, НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ ye.polyakova@mail.ru



Романенко Федор Александрович

кандидат географических наук

ведущий научный сотрудник, МГУ им. МВ. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ faromanenko@mail.ru



[Статья из рубрики "Природные ресурсы Арктики и Антарктики"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2020.2.32632

Дата направления статьи в редакцию:

15-04-2020

Дата публикации:

16-04-2020

Аннотация.

В статье представлены результаты диатомового анализа голоценовых отложений юго-

восточной части Терского берега Белого моря. Основным предметом исследования являлись распределение, концентрации и состав диатомовых ассоциаций, а также соотношение основных экологических групп диатомей в отложениях заболоченных понижений на поверхности поднятых морских террас. Последние были исследованы в пределах трех ключевых районов, расположенных на участке от села Чаваньга до правобережья реки Варзуги, на высотах от 17 до 52 м. Выполненные авторами реконструкции истории развития Терского берега Белого моря основаны на исследованиях состава диатомовых ассоциаций трех колонок голоценовых отложений. Возраст осадков был установлен радиоуглеродным датированием. В результате диатомового анализа удалось восстановить особенности смены палеогеографических обстановок, начиная с первой половины раннего голоцена, уточнить возраст основных трансгрессивных стадий - Фолас, Тапес, Тривия и абсолютные высоты распространения соответствующих морских образований. По изменениям концентраций и состава основных экологических групп диатомей также удалось зафиксировать значимые тренды изменения температуры вод прибрежных водоемов и гидробиологических условий в голоцене: кратковременное снижение температур конца бореала - первой половины атлантического времени, голоценовый гидробиологический оптимум и изменения температур суббореального и субатлантического времени.

Ключевые слова: Белое море, Терский берег, диатомовый анализ, радиоуглеродное датирование, торфяник, голоцен, палеогеографические реконструкции, изменения уровня моря, адвекция атлантических вод, Арктика

Работа выполнена в рамках ГЗ-АААА-А16-116032810080-2, экспедиционные работы – при поддержке РФФИ (проект № 14-05-00549).

Введение

Беломорский регион имеет особое значение для реконструкции истории развития всего северо-запада Восточно-Европейской равнины. В четвертичное время побережья Белого моря испытывали на себе последствия глобальных климатических изменений, развития покровных оледенений, гляциоизостатических движений земной коры, неотектонических процессов и гляциоэвстатической трансгрессии [\[1-9\]](#).

Несмотря на длительную историю исследований Терского берега [\[10-16\]](#), простирающегося от устья р. Варзуги до мыса Святой Нос (рис.1), данных о динамике природной среды Северо-Западного Беломорья в недавнем геологическом прошлом ещё недостаточно. Во многих аспектах Терский берег остается «белым пятном». Тем не менее, уточнение недавних исторических событий необходимо, так как Кольский полуостров в целом и Терский берег в частности испытывали на себе последствия снятия ледниковой нагрузки, а также изменения уровня Белого моря в ходе гляциоэвстатической трансгрессии. Согласно некоторым представлениям, поступление трансформированных атлантических вод из Баренцева моря началось вдоль Терского берега [\[17, 7\]](#). На основе данных о перемещении береговой линии разными методами установлено, что юго-восточная часть Кольского полуострова испытывала менее интенсивные послеледниковые поднятия в сравнении с западными побережьями Кандалакшского залива [\[12, 18-21\]](#), что способствовало непрерывному осадконакоплению. В связи с этим представляет интерес строение поднятых уровней, в которых запечатлены как морские, так и субаэральные этапы развития побережья. Для Терского берега типично наличие серии морских террас, возраст которых увеличивается с ростом высоты

над уровнем моря [16].

Диатомовый анализ остается одним из ведущих микропалеонтологических методов палеогеографических реконструкций послеледниковья всего Беломорского региона [17, 22-30]. В разрезах плейстоценовых отложений Терского берега диатомовые водоросли ранее были исследованы Е.А. Черемисиновой [31] и Л.Я.Каган [32]. Комплексными геологическими и геохронологическими работами [14, 15] были установлены две погребенные морские толщи – понойские (120-130 до 100-105 тыс. лет) и стрельнинские слои (ранее 85-90 тыс. лет назад), а также верхняя морская толща, накопившаяся в условиях литорали и сублиторали (60-40 тыс. лет назад). Комплексы морских холодноводных диатомовых водорослей времени трансгрессии Портландия (поздний дриас) также обнаружены А.П. Жузе в отложениях в долине р. Варзуги на высоте 74 м [33].

В настоящей работе обсуждаются результаты диатомового анализа голоценовых отложений заболоченных понижений на поверхности поднятых морских террас. С помощью изучения диатомовых ассоциаций выполнялась основная цель исследования – реконструкции обстановок осадконакопления на Терском берегу в голоцене. Основой возрастной интерпретации послужили радиоуглеродные датировки, которые на исследуемой территории ранее были получены лишь в районе устья р.Варзуги [35] и в прилегающем с запада районе с. Умба – коллективом В.В. Кольки [34].

Материалы и методы

Колонки 1/15, 2/15 и 5/15 были отобраны торфяным буром Гиллера-1 в ходе экспедиции кафедры геоморфологии и палеогеографии Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова под руководством Ф.А. Романенко на Терском берегу в сентябре 2015 года. На трех ключевых участках проведена геоморфологическая съёмка и пробурена серия скважин глубиной до 3,0 м, также зачищен и опробован разрез 4/15 на юго-восточном берегу озера Столбицкого.

Колонка 1/15 (высота устья скважины около 21 м) получена в 1 км к северу от села Чаваньга, в заболоченной котловине на цокольной морской террасе высотой 20-23 м. Обширное округлое болото занимает, как мы предполагаем, понижение кровли архейских гнейсов основания. Дно котловины осложнено мёрзлыми торфяными буграми и болотистыми западинами между ними, выполненными полужидким торфом, где мёрзлота не обнаружена. Крутым уступом высотой до 10 м терраса отделена от нижележащей цокольной поверхности высотой до 10 м, полого снижающейся к морю. Архейские гнейсы на ней обнажаются повсеместно.

Колонка 2/15 отобрана западнее в бассейне ручья Столбицкого на высоте 52 м над уровнем моря на заболоченной волнистой равнине, постепенно поднимающейся вглубь суши до 100 и более метров. Многочисленные плоские заболоченные понижения перекрыты прерывистым маломощным (до 2 м, по данным бурения) покровом озёрно-болотных торфов и сапропелей. Ручей Столбицкий берет свое начало из одноименного озера, в береговом уступе юго-восточного берега которого был описан и опробован разрез 4/15 на высоте 54 м. Бассейн ручья лежит вблизи восточного контакта рифейских песчаников с архейскими гнейсами основания, слагающими более восточные районы и обнажающимися у избы Крутая Гора (2,3 км восточнее избы Столбиха). Крутым уступом высотой до 30 м равнина спускается к нижележащим морским террасам высотой до 15-20 м, сложенным преимущественно песками и осложнённым многочисленными береговыми

валами. Они выклиниваются к востоку. В основании данного уступа лежат, по-видимому, гнейсы, перекрытые чехлом опесчаненных глин и оглиненных песков с валунами и галькой.

Скважина 5/15 пробурена на болоте Колонихский мох, расположенном на правобережной террасе р. Варзуги на высоте около 17 м (рис. 1). Возраст террасы считается моложе 4000 радиougлеродных лет назад (р. лет назад) – стадия остреа [35]. Поверхность также осложнена торфяными буграми с редкими соснами и прихотливыми озерами с топкими берегами, мерзлота не обнаружена.

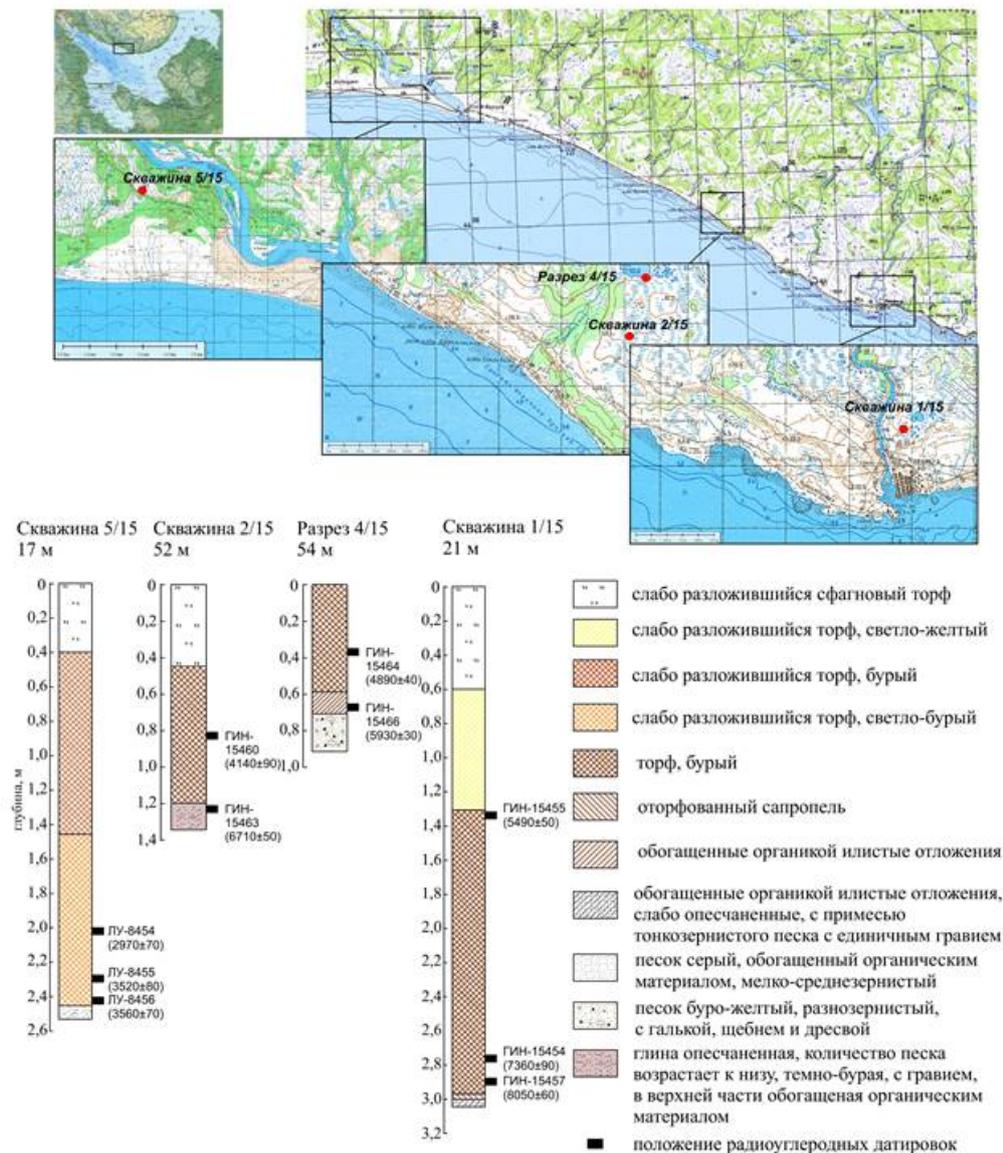


Рис. 1. Расположение и литологический состав исследованных колонок и разреза в юго-западной части Терского берега Белого моря. Показан радиougлеродный возраст (^{14}C), лет.

Радиougлеродное датирование семи образцов из колонок 1/15, 2/15 и разреза 4/15 осуществлялось в Лаборатории геохимии изотопов и геохронологии Геологического института РАН (индекс ГИН, табл. 1). Три радиougлеродные даты из колонки 5/15 получены в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана им. В.П. Кёппена, Институт наук о Земле, СПбГУ (индекс ЛУ, табл. 1) также сцинтилляционным методом. Преобразование радиougлеродных дат в календарный возраст выполнено с помощью программы CALIB

7.1, с использованием калибровочных кривых IntCal13 и Marine 13.

Таблица 1. Список радиоуглеродных датировок

Лаб. номер	Описание (№ скважины, местоположение, высота устья скважины)	Глубина отбора, м, номер образца	Материал	Радиоуглеродный возраст (^{14}C), лет	Интервал калиброванного возраста на 1σ , лет назад
ГИН-15460	Столбиха - 2015, 2/15, левобережье руч. Столбицкого, высота устья скважины - 52 м	0,8 - 0,9 2-15/26	торф	4140±90	4574-4730
ГИН-15463		1,2 - 1,3 2-15/28	глина, обогащенная органическим материалом	6710±50	7559-7617
ГИН-15464	оз. Столбицкое - 2015, 4/15, высота бровки разреза - 54 м	0,3 - 0,4 4-15/1	торф	4890±40	5595-5646
ГИН-15466		0,65 - 0,7 4-15/3	обогащенные органикой илистые отложения	5930±30	6719- 6790
ГИН-15455	Чаваньга - 2015, 1/15, устье р. Чаваньги, высота устья скважины - 21 м	1,3-1,4 1/15-54	торф	5490±50	6269-6320
ГИН-15454		2,7-2,8 1/15-53	торф	7360±90	7722-7931
ГИН-15457		2,85-2,95 1/15-56	торф	8050±60	8411-8594
ЛУ-8454	Кузомень-2015, 5/15, Колонихский мох, устье р. Варзуги, высота устья скважины - 17 м	2,0-2,1 5- 2015/46	торф	2970±70	3025-3231
ЛУ-8455		2,3-2,4 5- 2015/47	торф	3520±80	3693-3897
ЛУ-8456		2,4-2,5 5- 2015/48	торф	3560±70	3818-3929

Диатомовый анализ проведен для 53 образцов с интервалом опробования 5-10 см, техническая обработка образцов – по стандартным методикам [36] в Лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Видовые определения диатомей в препаратах осуществлялись с помощью микроскопа JENAVAL (Carl Zeiss) при увеличении в 1000 раз. Концентрации створок диатомей на 1 г сухого осадка (ств./г) подсчитывались по методике Battarbee [37].

Результаты исследований

Скважиной 1/15 (морская терраса, h_{abc} 21 м, район села Чаваньга) вскрыты 3,05 метров отложений. В основании разреза – маломощные слои обогащенных органикой слабо опесчаненных илистых отложений с примесью тонкозернистого песка и единичным гравием (3,00-3,05 м), и оторфованных сапропелей (2,95-3,00 м) (рис. 1, 2). Они перекрываются торфом разной степени разложения: бурым хорошо разложившимся (1,3-2,95 м); слабо разложившимся светло-желтым (0,6-1,3 м) и слабо разложившимся сфагновым (0,0-0,6 м). Из нижней части мощной толщи бурого торфа получены две радиоуглеродные датировки - ГИН-15454 (7360±90; 7722-7931 кал. лет назад; 2,7-2,8 м), ГИН-15457 (8050±60; 8411-8594 кал. лет назад; 2,85-2,95 м) (рис. 1, табл. 1). Возраст верхней части (1,3-1,4 м) бурого торфа составляет 6269-6320 лет (ГИН-15455; 5490±50).

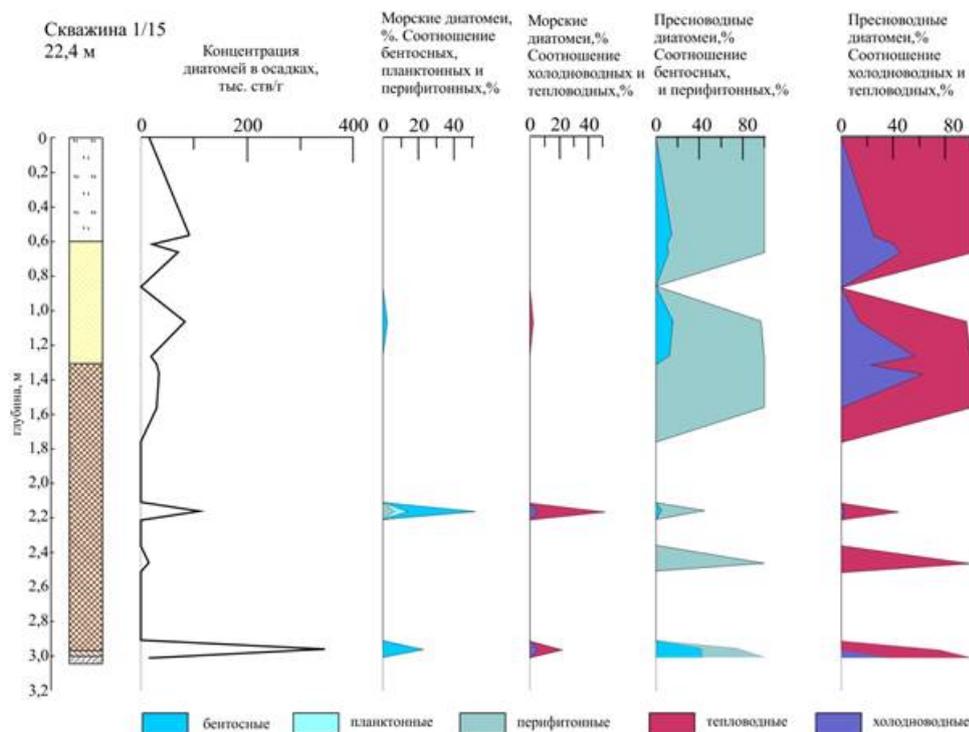


Рис. 2. Концентрации и распределение основных экологических групп диатомей в колонке 1/15 (район села Чаваньга).

Из отложений этой колонки диатомовые ассоциации изучены в 24 образцах. Всего установлено 37 видов и разновидностей диатомей, из них пресноводных 24 таксона преимущественно перифитонных и бентосных, и 11 морских и солоноватоводно-морских видов. Концентрации диатомей варьируют от 15×10^3 (2,45-2,50 и 3,00-3,05 м) до 400×10^3 (2,95-3,00 м) створок на грамм сухого осадка (рис. 2).

Результаты диатомового анализа показали, что слабо опесчаненные илистые отложения в основании разреза (3,00-3,05 м) содержат комплекс пресноводных диатомей, свойственный современным озерам и болотам арктических и субарктических районов Евразии. В его составе доминируют олигогалобы, преимущественно галофобы, бентосные и перифитонные виды, включая алкалифильные (*Staurosirella leptostauron*, *S. pinnata*) и ацидофильные (*Eunotia inflata* и *Tabellaria flocculosa*) диатомей. Формирование диатомового комплекса происходило в заболоченном водоеме.

В вышележащем слое оторфованных сапропелей (2,90-3,00 м) основу диатомовых

ассоциаций наряду с пресноводными бентосными *Pinnularia distinguenda*, *Neidium iridis* и перифитонным *Cymbella peraspera* составляют морские виды: меропланктонный *Odontella aurita*, бентосные *Amphora proteus*, *Grammatophora arcuata*, *Navicula peregrina*. Такой состав диатомовых ассоциаций может свидетельствовать о подтоплении морскими водами прибрежного заболоченного участка или волновыми заплесками во время штормов. Возраст отложений, рассчитанный на основе радиоуглеродных датировок двух горизонтов методом линейной интерполяции, около 8500-9000 кал. лет.

Выше по разрезу в торфе с разной степенью разрушения растительных макроостатков в основном преобладают пресноводные диатомеи, типичные для заболоченных водоемов (*Eunotia exigua*, *E. inflata*, *E. faba*, *E. lapponica*). При этом в одном образце (на глубине 2,2 м) установлены типичные морские диатомеи (*Odontella aurita*, *Amphora proteus*, *Grammatophora arcuata*). Вероятно, они появились в составе диатомовых ассоциаций в результате усиления влияния волновой и штормовой деятельности при повышении уровня моря. В верхней части разреза (0,0-0,6 м) существенно сокращаются концентрации диатомей (20×10^3 ств./г) и их видовое разнообразие, при этом увеличивается число относительно тепловодных и умеренно тепловодных видов (*Stauroneis schulzii*, *Eunotia fallax*), снижается доля аркто-альпийских видов (*Eunotia rhomboidea*, *Frustulia saxonica*).

В колонке 2/15, расположенной в верховьях ручья Столбицкого на $h_{абс}$ 52 м, в основании маломощного (менее метра) слоя торфа лежат опесчаненные глины (1,20-1,35 м), формировавшиеся в начале атлантического времени (ГИН-15463, 7559-7617 кал. лет назад). Судя по датировке из нижней части (0,8-0,9 м) толщи бурого торфа (ГИН-15460, 4574-4730 кал. лет назад), она образовалась во второй половине атлантического времени - середине суббореального. Близкий по возрасту торф слагает разрез 4/15 на берегу озера Столбицкого (ГИН-15464, 5595-5646 кал. лет назад; ГИН-15466, 6719-6790 кал. лет назад). Мощность завершающего разрез слабо разложившегося сфагнового торфа составляет 0,45 м.

В составе выделенных в образцах диатомовых ассоциаций встречены исключительно пресноводные виды, в основном из рода *Eunotua*, принадлежащие болотной диатомовой флоре. Морские диатомеи в колонке обнаружены не были (рис. 3). Суммарные концентрации диатомей в отложениях варьируют в широких пределах – от 800×10^3 до 2×10^3 ств./г, максимальные установлены в интервале осадков 0,50-0,55 м, а минимальные на глубине 1,20-1,25 м.

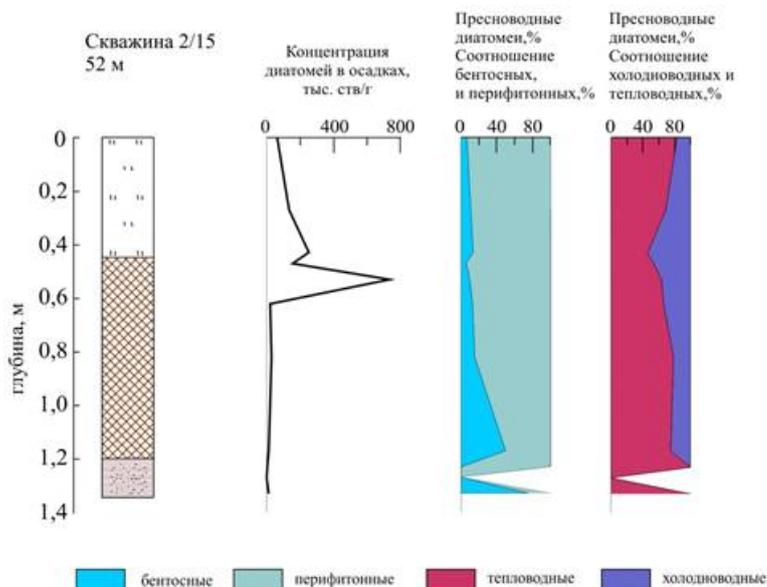


Рис. 3. Концентрации и распределение основных экологических групп диатомей в колонке 2/15 (бассейн ручья Столбицкого).

Диатомовые ассоциации из залегающей в основании разреза опесчаненной глины (1,15-1,35 м) представлены в основном типичными озерно-болотными бентосными видами (*Frustulia saxonica*, *Pinnularia rupestris*, *Pinnularia viridiformis*). Выше по разрезу на глубине 0,5-1,15 м увеличиваются концентрации диатомей (с 11×10^3 до 795×10^3 ств./г.), более значимой становится доля видов-обрастателей - *Eunotia exigua*, *Eunotia rhomboidea*, *Eunotia lapponica*. Отмечено преобладание бореальных видов и видов-космополитов (*Pinnularia rupestris*, *Eunotia lapponica*), аркто-альпийские виды практически отсутствуют. Концентрации диатомей на глубинах 0,4-0,5 м заметно сокращаются (до 165×10^3 ств./г.), при этом увеличивается до 40 % доля болотных аркто-альпийских видов (*Eunotia denticulata*, *Eunotia rhomboidea*). Для слабо разложившегося сфагнового торфа (0,0-0,5 м) в целом характерно снижение концентраций диатомей с небольшим пиком (269×10^3 ств./г.) на глубине 0,4 м, а также преобладание относительно тепловодных видов (*Pinnularia rupestris*, *Eunotia lapponica*).

В скважине 5/15, пробуренной на болоте Колонихский мох (n_{abc} 17 м) в основании колонки находится мелко-среднезернистый песок (2,5-2,55 м), перекрытый слабо разложившимся светло-бурым (1,45-2,5 м), бурым слабо разложившимся (0,40-1,45 м) и слабо разложившимся сфагновым торфом (0,00-0,40 м). Нижняя толща (2,0-2,5 м) торфа имеет суббореальный возраст (ЛУ-8454, 3025-3231 кал. лет назад; ЛУ-8455, 3693-3897 кал. лет назад; ЛУ-8456, 3818-3929 кал. лет назад). Диатомеи исследованы в 18 образцах. Всего установлено около 40 видов и разновидностей диатомей, общая численность которых изменяется от 40×10^3 ств./г до 800×10^3 ств./г (рис. 4).

В основании разреза (2,50-2,55 м) в песчаной толще возрастом более 3818-3929 кал. лет назад. был обнаружен комплекс диатомей, свидетельствующий о прибрежно-морских условиях осадконакопления. Широко распространен меропланктонный вид *Paralia sulcata*, в меньшем количестве представлены бентосные сублиторальные виды *Rhabdonema arcuatum*, *Diploneis interrupta*.

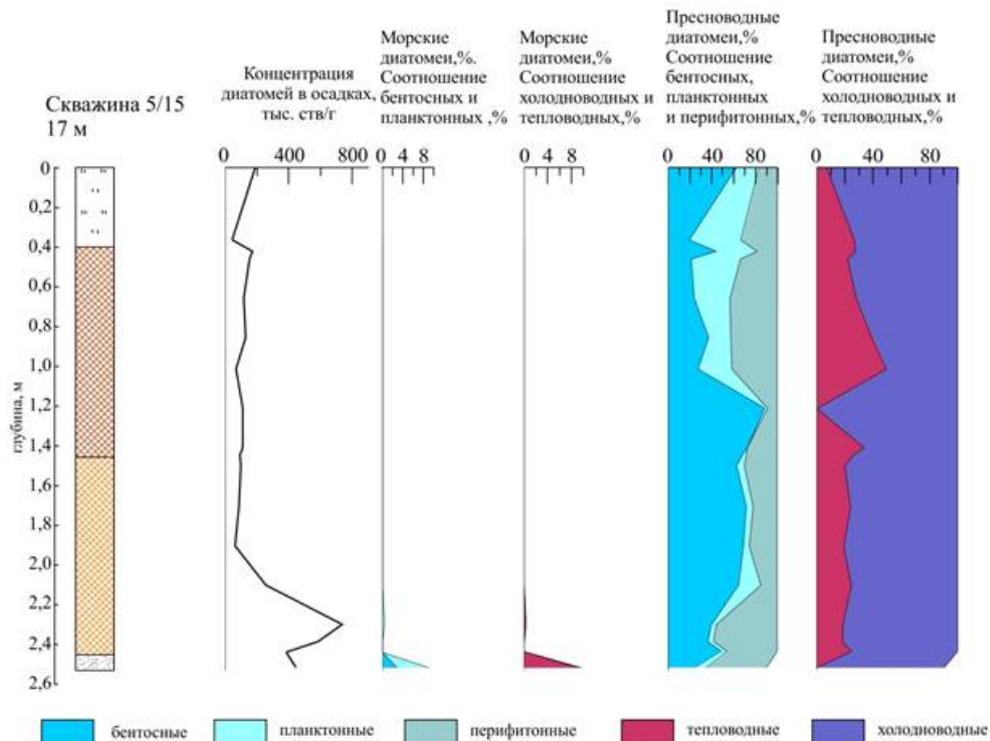


Рис. 4. Концентрации и распределение основных экологических групп диатомей в колонке 5/15 (Колонихский мох)

Диатомовые ассоциации нижней части торфа (2,20-2,50 м; около 3800-3400 кал. лет назад) включают в себя как мезогалобные виды (*Paralia sulcata*, *Diploneis interrupta*), так и типичные озёрно-болотные олигогалобы (*Eunotia inflata*, *Tabellaria flocculosa* и др.). Выше по разрезу в торфе диатомовые комплексы представлены болотными и озерно-болотными видами. На глубине 1,45-2,2 м из состава диатомовых ассоциаций исчезают мезогалобные виды, преобладают холодноводные озерно-болотные диатомовые водоросли (*Eunotia exigua*, аркто-альпийский *E. inflata*). Горизонт 1,2-1,45 м характеризуется уменьшением числа холодноводных видов в диатомовых комплексах (рис. 4). Горизонт 0,4-1,2 м (верхняя часть прослоя торфа) содержит в себе болотный холодноводный комплекс диатомей (виды родов *Eunotia* и *Pinnularia*). В верхней части разреза доминируют ацидифильные виды, среди которых наиболее обильны *Eunotia parallela*, *Eunotia triodon*, *Eunotia exigua*, *Frustulia saxonica*.

Обсуждение результатов

Изученные колонки отражают историю развития природной среды Терского берега Белого моря со второй половины раннего голоцена (бореальное-субатлантическое время). Наиболее древние отложения колонки 1/15 в районе села Чаваньга (табл. 1, рис. 1 и 2), начали формироваться в середине бореального времени (8,6-7,9 тыс. кал. лет назад).

Установлено [38-41], что во время максимума последнего оледенения (около 18-17 тыс. лет назад) уровень Мирового океана был ниже современного более чем на 100 м. Современный уровень был достигнут около 6-5 тыс. лет назад и, в последующем, в отдельные периоды голоцена либо превышал его на несколько метров, либо оставался на современном уровне. Связь Белого моря с Баренцевым установилась около 11,2 – 11,0 тыс. лет назад [7], когда уровень океана достиг современной изобаты 50 м [42] и относительно неглубокое Горло освободилось ото льда. Особенностью развития постгляциальной трансгрессии в Белом море являлись неравномерные во времени

скорости постгляциального поднятия побережий Белого моря, имевшие значительные региональные особенности [35, 43-46].

Для раннего голоцена (11,7-8,2 тыс. кал. лет назад) с конца пребореала (примерно 10,8 тыс. кал. лет назад) до поздней атлантики (около 6,8 тыс. кал. лет назад) характерно отчетливое неравномерное относительное понижение уровня моря, связанное с преобладающим постгляциальным поднятием побережий [43]. При этом выделяются этапы фиксированного положения уровня моря или даже периоды незначительного его подъема [47]. Положение морских диатомовых комплексов в нижней части колонки 1/15 (рис. 2) на h_{abc} 18,0 м свидетельствует о влиянии трансгрессии Фолас (рис. 5), проявляющемся в подтоплении прибрежного болота. Трансгрессия была связана с эвстатическим повышением уровня моря 8,0-9,0 тыс. кал. лет назад. Она не имела широкого распространения, так как, вероятно, затопление морскими водами понижений суши произошло при низких скоростях поднятия берега, либо даже при его тектоническом погружении. При этом западнее, в долине р.Варзуги отложения трансгрессии Фолас фиксируются на высотах 46 м [48], что также подтверждает снижение интенсивности постгляциального поднятия при движении с запада на восток южного побережья Кольского полуострова.

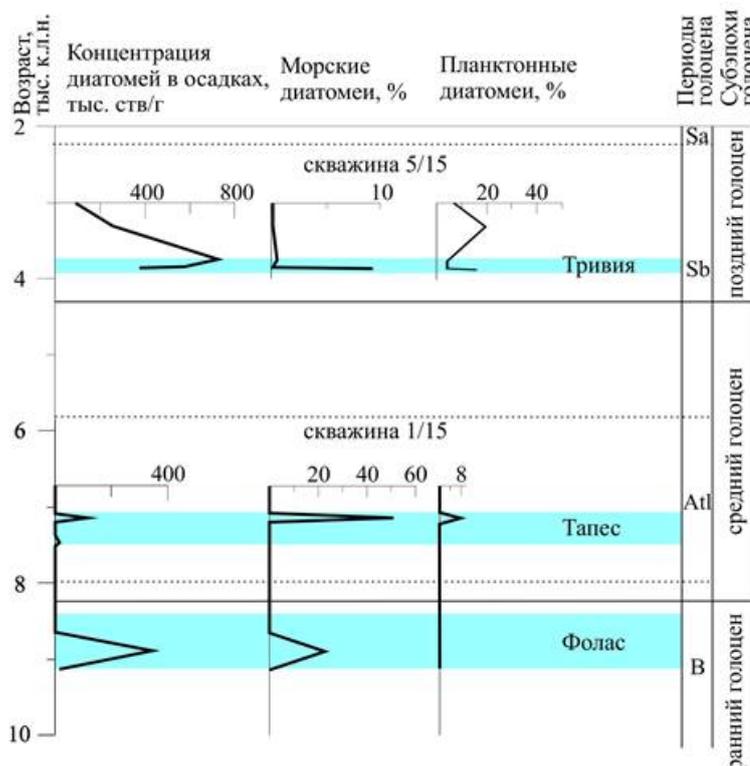


Рис. 5. Отражение голоценовых трансгрессивных стадий в составе диатомовых ассоциаций. Возраст рассчитан на основе радиоуглеродных датировок (табл. 1) методом линейной интерполяции между датированными уровнями, с допущением равномерности скорости осадконакопления.

В целом прохладные климатические условия раннего голоцена отличаются общим трендом повышения температур, прерываемым кратковременными похолоданиями [49-51]. Фиксируемое многими исследователями похолодание конца бореального времени - начала атлантического периода так же проявляется в основании колонки 1/15 (3,00-3,05 м, около 9,1 тыс. кал. лет назад) в соотношении тепловодных (18%) и холодноводных (38%) видов диатомей (*Eunotia inflata*, *Tabellaria flocculosa*). Атлантический период (8,0-

5,8 тыс. кал. лет назад) в целом характеризуется улучшением гидробиологических условий в Северо-Западном Беломорье, что также подтверждается преобладанием относительно тепловодных видов диатомей (колонки 1/15, 2/15).

В среднем голоцене (8,2-4,2 тыс. кал. лет назад) период стабильного положения уровня моря соответствует трансгрессии Тапес [39, 47, 52]. Трансгрессивная стадия Тапес проявляется в колонке 1/15 на $h_{абс}$ 18,8 м в виде второго пика морских диатомей на глубине 2,15-2,20 м (около 7-7,5 тыс. кал. лет назад, рис. 2, 5). Западнее, в районе устья р. Варзуги, установлено формирование террасового уровня стадии Тапес, поднятого сейчас на высоты 30-40 м [35].

Рядом исследователей среднеголоценовое потепление отнесено к интервалу 8-5 тыс. кал. лет назад [2, 51, 53]. В Баренцевом море кульминация проникновения атлантических вод приходится на период 7,8-6,9 тыс. кал. лет назад [54]. По нашим данным, на Терском берегу Белого моря наиболее оптимальные гидробиологические условия сложились немного позднее, рост числа тепловодных видов (колонки 1/15, 2/15) и увеличение концентраций диатомей (колонка 1/15) приходится на временной промежуток 7,5-6,2 тыс. кал. лет назад. Выделенный нами гидробиологический оптимум хорошо соотносится с результатами исследований цист динофлагеллат и диатомей в донных осадках Белого моря, свидетельствующими об усилении адвекции относительно теплых североатлантических вод [17, 24, 55]. На границе атлантического и суббореального периодов (5,8 тыс. кал. лет назад) в континентальных озерно-болотных осадках отмечено начало снижения температур (по увеличению доли холодноводных видов в колонке 2/15, рис. 3), которое прослеживается вплоть до начала позднего голоцена. Ухудшение гидробиологических условий связано с откликом развития воздушных масс на снижение интенсивности поступления атлантических вод, фиксируемом также в Норвежско-Гренландском бассейне [56], у западного побережья Норвегии [57] и в акватории Баренцева моря [58, 59]. В колонке 2/15 доминанты горизонта 0,9-0,7 м (5-4 тыс. кал. лет назад) полностью отражают снижение температур воды в реконструируемом мелководном озере, связанное с похолоданием первой половины суббореального периода. В это же время для отложений этого возраста в районе Чаваньги, в колонке 1/15 характерно увеличение числа тепловодных диатомей, которое, судя по большой роли видов-образователей (рис. 2) в составе диатомовых ассоциаций связано с изменением глубин озера, а не климатическими флуктуациями.

Значимое изменение уровня моря в позднем голоцене (4,2 тыс. кал. лет назад - н.в.) – трансгрессия Тривия [39]. В районе р. Варзуги, на болоте Колонихский мох, в основании колонки 5/15 (2,50-2,55 м, около 3,9 тыс. кал. лет назад) отложения трансгрессии Тривия, содержащие морской диатомовый комплекс (рис. 4, 5), обнаружены на $h_{абс}$ 14,5 м. Максимальные концентрации диатомей в колонке 5/15, приходящиеся на начало позднего голоцена, связаны с уменьшением глубин и изоляцией исходного морского залива. Для второй половины суббореала в целом характерно преимущественное улучшение гидробиологической обстановки, проявляющееся в повсеместном увеличении числа тепловодных видов диатомей в колонках. Максимум концентраций диатомей в колонке 2/15 приходится на временной промежуток - около 3,0 - 3,1 тыс. кал. лет назад – конец суббореального времени. Пик концентраций диатомей связан не только с улучшением условий, но и с переходным этапом смены гидрологических обстановок от озерных к болотным и обмелением исходного водоема, который судя по характеру диатомовых ассоциаций (*Frustulia saxonica*, *Pinnularia rupestris*, *Pinnularia viridiformis*)

представлял собой холодный мелководный дистрофный водоем.

В начале субатлантического периода условия в бассейне ручья Столбицкого начинают становиться более засушливыми, что проявляется в увеличении доли вида *Eunotia lapponica* (колонка 2/15). Изменения условий увлажнения связано с усилением континентальности климата. Практически во всех колонках малый климатический оптимум (800-700 кал. лет назад) и малый ледниковый период (около 600 кал. лет назад) субатлантического времени отражаются в изменении концентрации диатомей и соотношении относительно тепловодных и холодноводных видов. Упомянутые выше климатические события также прослеживаются в изменении состава и концентраций цист динофлагеллат в донных осадках Белого моря [55]. Для субатлантического периода в целом характерно снижение числа относительно холодноводных видов диатомей во всех изученных колонках.

Заключение

Исследование изменений состава диатомовых ассоциаций датированных радиоуглеродным методом голоценовых отложений Терского берега позволило восстановить особенности смены палеогеографических обстановок начиная с первой половины раннего голоцена.

В колонках отложений морских террас зафиксированы три трансгрессивных стадии: Фолас (колонка 1/15, h_{abc} 18,0 м; 8,0-9,0 тыс. кал. лет назад), Тапес (колонка 1/15, на h_{abc} 18,8 м; около 7-7,5 тыс. кал. лет назад) и Тривия (колонка 5/15 м, h_{abc} 14,5 м; около 3,9 тыс. кал. лет назад). Сравнение абсолютных высот обнаруженных отложений трансгрессий с ранее опубликованными данными о положении одноименных морских образований показало увеличение высоты трансгрессивных уровней с востока на запад.

Несмотря на то, что состав диатомовых ассоциаций сильно зависит от температуры воды исходного водоема, ведущим фактором изменения которой на исследуемой территории является изменение глубин, связанное с постгляциальными тектоническими и гляциоизостатическими движениями, а также трансгрессивно-регрессивным перемещением береговой линии, в колонках все равно удалось зафиксировать отклик на региональные изменения температуры, связанные как с интенсивностью адвекции теплых североатлантических вод, так и опосредованно с глобальными изменениями климата. Так, выявлены следующие события: снижение температуры воды конца бореального периода - начала атлантики (колонка 1/15, около 9,1 тыс. кал. лет назад), улучшение гидробиологических условий атлантического периода (колонки 1/15, 2/15; 8,0-5,8 тыс. кал. лет назад) и их оптимум (колонки 1/15, 2/15; 7,5-6,2 тыс. кал. лет назад), снижение температуры воды на границе атлантического и суббореального периодов (колонка 2/15; 5,8 тыс. кал. лет назад) и первой половины суббореала, улучшение гидробиологической обстановки второй половины суббореала и субатлантического времени, малый климатический оптимум (800-700 кал. лет назад) и малый ледниковый период (около 600 кал. лет назад). Также можно уверенно говорить о региональном распространении заболачивания на высоких морских террасах и вышележащих равнинах во второй половине субатлантического-суббореального времени.

Благодарности

Авторы благодарны научному сотруднику кафедры геоморфологии и палеогеографии Н.Н. Луговому и безвременно покинувшей нас заведующей метеорологической обсерватории кафедры метеорологии и климатологии в.н.с., к.г.н. О.А. Шиловцевой за

большую помощь в организации и проведении полевых работ.

Библиография

1. Невесский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: «Наука». 1977. 236 с.
2. Девятова Э.И. Природная среда и ее изменения в голоцене. Петрозаводск. 1986. 109 с.
3. Соболев В.М., Алешинская З.В., Полякова Е.И. Новые данные о палеогеографии Белого моря в позднем плейстоцене-голоцене // Корреляция палеогеографических событий: материк – шельф – океан. Материалы конференций. М.: Изд-во МГУ. 1995. С. 120–130.
4. Лавров А.С., Потапенко Л.М. Неоплейстоцен северо-востока Русской равнины. М.: Аэрогеология. 2005. 222 с.
5. Larsen, E., Kjær, K. H., Jensen, M., Demidov, I. N., Håkansson, L. & Paus, Early Weichselian palaeoenvironments reconstructed from a mega-scale thrust-fault complex, Kanin Peninsula, northwestern Russia // *Boreas*. 2006. Vol. 35(3). P. 476-492.
6. Demidov I.N., Houmark-Nielsen M., Kjaer K.H., Larsen E. The last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: ice flow patterns and decay dynamics // *Boreas*. 2006. Vol. 35. P. 425-433.
7. Демидов И.Н. Геология и динамика новейшего периода формирования акватории Белого моря // Система Белого моря (под ред. академика РАН А.П.Лисицына). М.: Научный мир. 2010. Т. 1. С. 58–76.
8. Евзеров В.Я. Позднеплейстоценовые и голоценовые оледенения в районе Ловозерских тундр на Кольском полуострове // Известия РГО. Т.142. Вып. 4. 2010. С. 65-80.
9. Hughes, A.L.C., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø.S., Mangerud, J., Svendsen, J.I., The last Eurasian ice sheets – a chronological database and time-slice reconstruction, *DATED-1*. *Boreas* 45.2016. P. 1–45.
10. Введенский Л. Рельеф южной части Кольского полуострова // Известия государственного географического общества. Т.66. Вып.6. 1934. С.844-863.
11. Лаврова М.А. Заметка о нахождении вечной мерзлоты на южном берегу Кольского полуострова // Труды Комиссии по изучению вечной мерзлоты. Т. IV. 1935. С. 253–255.
12. Лаврова М.А. Четвертичная геология Кольского полуострова. Л.: Изд-во АН СССР. 1960. 233 с.
13. Гудина В.И., Евзеров В.Я. Стратиграфия и фораминиферы верхнего плейстоцена Кольского полуострова. Новосибирск: Наука. 1973. 146 с.
14. Корсакова О.П., Молодьков А.Н., Колька В.В. Геолого-стратиграфическая позиция верхнеплейстоценовых морских образований на юге Кольского полуострова (по геохронологическим и геологическим данным) // ДАН. 2004. Т. 398. № 2. С. 218–222.
15. Корсакова О.П., Колька В.В. Плейстоценовая история осадконакопления в береговой зоне Кольского полуострова // Известия РГО. Т. 141. № 4. 2009. С. 35–47.
16. Ермолов А. А. Геоморфология беломорских берегов Кольского полуострова // Геоморфология. 2010. № 1. С. 36–42.
17. Джиноридзе Р.Н. Диатомовые водоросли из донных осадков Белого моря в связи с его историей в голоцене. Автореф. дис. канд. биол. наук. Л.: Ботанический институт

- им. В.Л. Комарова Академии наук СССР, 1971. 23 с.
18. Кошечкин Б.И. Голоценовая тектоника восточной части Балтийского щита. Л.: Наука. 1979. 160 с.
 19. Никонов А.А. Стратиграфия плейстоцена Кольского полуострова // Сов.геология. № 8. 1966. С. 40-47.
 20. Николаев Н.И. Новейшая тектоника и геодинамика литосферы. М.: Недра. 1988. 491 с.
 21. Толстобров Д.С., Колька В.В. Новые схемы изобаз поднятия северо-востока Фенноскандии за последние 10 тысяч лет // Вестник Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. № 11 (299). 2019. С. 3-8
 22. Боярская Т.Д., Полякова Е.И., Свиточ А.А. Новые данные о голоценовой трансгрессии Белого моря // ДАН. Т. 290. № 4. 1986. С. 964-968.
 23. Полякова Е.И. Диатомовый анализ // Методы палеогеографических реконструкций, под ред. П.А. Каплина, Т.А. Яниной. М.: Географический факультет МГУ. 2010. С. 126-154
 24. Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Лисицын А.П., Баух Х.А., Рыбалко А.Е. Современные данные по биостратиграфии и геохронологии донных осадков Белого моря. ДАН. 2014. Т. 454. № 4. С. 467-472.
 25. Полякова Е.И., Новичкова Е.А., Ключиткина Т.С. Диатомеи и палиноморфы в поверхностных осадках арктических морей и их значение для палеоокеанологических исследований в высоких широтах // Система Белого моря (под ред. академика РАН А.П.Лисицына). Т. 4. М.:Научный мир. 2017.
 26. Polyakova Ye. I, Novichkova Ye. A. Diatoms and aquatic palynomorphs in the White Sea sediments as indicators of sedimentation processes and paleoceanography // Sedimentation Processes in the White Sea: The White Sea Environment. Lisitzin A.P., Demina L.L. (eds.). Vol. 2 of Hdb Environmental Chemistry. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature New York. 2018. P. 10-48.
 27. Шилова О.С. Голоценовые диатомеи болот Кольского полуострова и Северо-Восточной Карелии. М.:МАКС Пресс. 2011. 178 с.
 28. Агафонова Е. А., Полякова Е. И., Романенко Ф. А. Динамика природной среды побережья Кандакшского залива Белого моря в голоцене // Актуальные проблемы современной палинологии: Материалы XIV Всероссийской палинологической конференции, посвященной памяти В.П. Гричука (под ред. Н. С. Болиховская, Т. С. Ключиткина). М.:Географический факультет МГУ. 2017. С. 3-7.
 29. Агафонова Е. А., Полякова Е. И., Новичкова Е. А. Палеоокеанологические события поздне-и послеледниковья в Двинском заливе Белого моря по данным диатомового анализа // Геология морей и океанов: Материалы XXIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 1. М.: ИО РАН . 2019. С. 19-23.
 30. Agafonova E., Polyakova Ye., Novichkova Ye. The impact of transformed Atlantic waters on hydrological conditions in the White sea during the post-glacial based on micropaleontological records // Book of abstracts of the 1st International Conference 'Processes and Palaeo-environmental changes in the Arctic: from past to present' (PalaeoArc). Poznan. 2019. P. 13.
 31. Черемисинова Е.А. Диатомовая флора морских межледниковых отложений Кольского полуострова // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Запада РСФСР. 1962. Вып. 3.С.45-57.
 32. Каган Л. Я. Диатомовые водоросли Евро-Арктического региона: древние и современные морские и пресноводные. Аннотированная коллекция. Апатиты: Изд-во

- КНЦ РАН. 2012. 209 с.
33. Лаврова М.А. Позднее и послеледниковая история Белого моря. В кн.: Неогеновые и четвертичные отложения Западной Сибири. М.: Наука, 1968, с. 140-163
 34. 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 //Известия РАН. Серия географическая. 2013. № 1. С. 73–88
 35. Зарецкая Н. Е., Репкина Т. Ю. Новые данные по истории Терского берега Белого моря в голоцене (район устья р. Варзуги) // Геология морей и океанов. Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ГЕОС. 2015. С. 185–189.
 36. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.
 37. Battarbee R.W. A new method for the estimation of absolute microfossil numbers, with reference especially to diatoms // Limnology and Oceanology. Vol. 18. No 4. 1973. P. 647-653.
 38. Каплин П.А. Новейшая история побережий Мирового Океана. М.: МГУ. 1973. 265 с.
 39. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС. 1999. 229 с.
 40. Kaplin P.A., Selivanov A.O. Lateglacial and Holocene sea level changes in semi-enclosed seas of North Eurasia: examples from the contrasting Black and White seas // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. Elsevier BV. 2004. P. 19-36.
 41. Fairbridge R.G. Eustatic changes in sea level // Phys. and Chem. Of the Earth. Vol. 4. N.Y.: Macmillan.1961. P. 99-185.
 42. Bauch H.A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E., Spielhagen R.F., Kassens H., Thiede J, Grootes P.M., Heinemeier J., Petryashov V.V. Chronology of the Holocene transgression at the north Siberian margin // Global and Planetary Change. Vol. 31, no. 1-4. 2001. P. 125–139.
 43. Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я., Корнер Д. Постлеледниковые 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.
 44. Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б., Арсланов Х.А. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на карельском берегу (район поселка Энгозеро, северная Карелия) // ДАН. Т. 449. №5. 2013. С. 587–592.
 45. Субетто Д. А., Шевченко В. П., Лудикова А. В., Кузнецов Д. Д., Сапелко Т. В., Лисицын А. П., Евзеров В. Я., П. ван Беек (P. van Beek), М. Суо (M. Souhaut), Субетто Г. Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // ДАН. Т. 446. № 2. 2012. С. 183–190.
 46. 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. Т. 442. № 4. 2012. С. 544–548
 47. Колька В.В., Корсакова О.П. Положение береговой линии Белого моря и неотектонические движения на северо-востоке Фенноскандии в позднеледниковье и голоцене // Система Белого моря (под ред. академика РАН А.П.Лисицына). Т. 4.М.: Научный мир. 2017. С. 213–241.

48. Лаврова М.А. Основные этапы четвертичной истории Кольского полуострова. Известия Всесоюзного географического общества. Т.79. Вып. 1. 1947. С. 21-38.
49. Snyder J. A., MacDonald G.M., Forman S.L., Tarasov G.A., Mode W.N. Postglacial climate and vegetation history, north-central Kola Peninsula, Russia: pollen and diatom records from Lake Yarnyshnoe-3 // *Boreas*. 2000. Vol. 29. P. 261-271.
50. Субетто Д.А. Поздне-последледниковая трансформация озерных седиментационных обстановок на Северо-западе России // *Экологический вестник научных центров ЧЭС. Приложение №1. Краснодар, 2006. С.90-96.*
51. Елина Г.А., Филимонова Л.В. Палеорастиельность позднеледниковья-голоцена Восточной Фенноскандии и проблемы картографирования // *Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции. Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2007. С. 117-143.*
52. Corner G.D., Kolka V.V., Yevzerov V.Y., Møller J. Postglacial relative sea-level change and stratigraphy of raised coastal basins on Kola Peninsula, northwest Russia // *Global and Planetary Change*. 2001. Vol. 31, Iss. 1-4. P. 155-177.
53. Климанов В.А., Елина Г.А. Изменения климата на Северо-западе Русской равнины в голоцене // *ДАН. СССР. Т. 274. Вып. 5. 1984. С. 1164-1167.*
54. Ivanova E., Murdmaa I., de Vernal A., Risebrobakken B., Peyve A., Brice C., Seitkalieva E., Pisarev S. Postglacial paleoceanography and paleoenvironments in the northwestern Barents Sea. *Quaternary Research*. 2019. P.1-20.
55. Новичкова Е. А., Полякова Е. И. Палеогидрологические изменения в Белом море за исторический период времени на основе анализа цист динофлагеллат. *ДАН. Т. 422. № 6. 2008. С. 819-822.*
56. Коç N., Jansen E., Hafliðason H. Paleoceanographic reconstructions of surface ocean conditions in the Greenland, Iceland and Norwegian Seas through the last 14 ka based on diatoms // *Quaternary Science Reviews*. Vol. 12. 1993. P. 115-140.
57. Grosfjeld K., Larsen E., Sejrup H.P., de Vernal A., Flatebo T., Vestbo M., Hafliðason H., Aarseth I. Dinoflagellate cysts reflecting surface-water conditions in the Voldafjorden during the last 11,300 years // *Boreas*. Vol. 28. 1999. P. 403-415.
58. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. М.: Научный мир. 1997. 145с.
59. Voronina E., Polyak L., de Vernal, Peyron O. A. Holocene variations of sea-surface conditions in the southeastern Barents Sea, reconstructed from dinoflagellate cyst assemblages // *J. of Quaternary Science*. 2001. V. 16. P. 717-726.