

пологии Сибири и сопредельных территорий. Новосибирск, 2007. Т. XIII. С. 264—267.

- [19] Кирюшин Ю. Ф., Шамишин А. Б. Древнее прошлое Завьяловского района // Завьяловский район. История. События. Люди. Барнаул, 2000. С. 30.
- [20] Ключевский район: история и современность. Барнаул, 2002. С. 40.
- [21] Марсадолов Л. С. Пазырыкский феномен и попытки его объяснить // Итоги изучения скифской эпохи Алтая и сопредельных территорий. Барнаул, 1999. С. 104—107.
- [22] Молодин В. И. Неолитическое погребение на оз. Иткуль и некоторые соображения по поводу погребальных комплексов данной эпохи в предгорьях и горах Алтая // Проблемы неолита—энеолита юга Западной Сибири. Кемерово, 1999. С. 36—57.
- [23] Памятники истории и культуры северо-западного Алтая. Барнаул, 1990. С. 33—34.
- [24] Памятники истории и культуры юго-западных районов Алтайского края. Барнаул, 1996. С. 36—37.
- [25] Редькин А. Г. Природные условия плоскогорья Укок в позднем плейстоцене—голоцене. Барнаул, 1998. Дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул, 1998.
- [26] Федорук А. С. Результаты археологических исследований в Баевском, Михайловском и Усть-Пристанском районах Алтайского края // Полевые исследования в Верхнем Приобье и на Алтае. Барнаул, 2007. С. 40—43.
- [27] Федорук А. С. Результаты археологического обследования районов центральной и южной Кулунды в 2005 году // Полевые исследования в Верхнем Приобье и на Алтае (археология, этнография, устная история) 2005 г. Барнаул, 2006. С. 80—84.

Санкт-Петербург
kirill.chistyakov@gmail.com
Санкт-Петербургский государственный
университет

Поступило в редакцию
22 октября 2012 г.

Изв. РГО. 2013. Т. 145. Вып. 2

© Д. Ю. БОЛЬШИЯНОВ,* Л. А. САВЕЛЬЕВА,* Л. А. ПЕСТРЯКОВА,**
П. С. ВАХРАМЕЕВА,*** А. В. БАРАНСКАЯ*

МЕТОДИКА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ АРКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА СЕВАСТЬЯН-КЮЕЛЕ

В настоящее время исследования донных отложений озер как источника палеогеографической информации получили широчайшее распространение. Крупнейшие международные проекты по исследованию природной среды обращены в первую очередь к озерам. Озерные отложения исследуются множеством методов, очень важным из которых является их датирование. Однако получаемые датировки часто оторваны от процессов, которые происходят и происходили в озере и на его водосборе. Исследователи обычно игнорируют

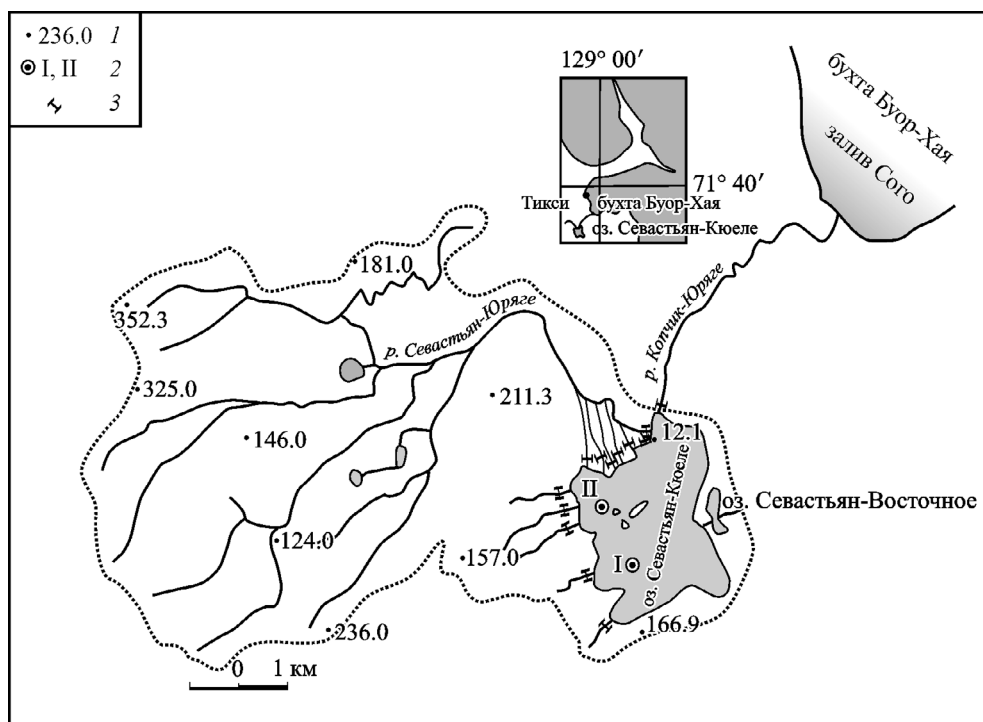


Рис. 1. Схема водосборного бассейна оз. Севастьян-Кюеле.

1 — отметки высот, м; 2 — скважины бурения донных отложений в 2008 г.; 3 — гидрометрические створы, август 2011 г.

гидрологический режим озер, геоморфологическое и геологическое строение его бассейна, всецело полагаясь на то, что сами осадки содержат все необходимое для восстановления истории развития природной среды в прошлом. Полное доверие получаемым датировкам отложений часто влечет за собой неверную палеогеографическую интерпретацию [1]. Цель данной статьи — показать, каким образом можно извлечь палеогеографическую информацию из отложений одного из мелких и, казалось бы, неперспективных для палеогеографических построений арктических озер.

Озеро Севастьян-Кюеле (рис. 1) как наиболее крупный водоем в окрестностях Тикси было выбрано для исследования донных отложений с целью выявления истории развития природной среды в течение голоцена и последних тысячелетий. Кроме того, озеро находится на высоте 12 м над уровнем моря, что возможно использовать для изучения морских трансгрессий голоцена на побережье моря Лаптевых.

Озеро расположено в 10 км южнее пос. Тикси среди низких куэстообразных гор Приморского края Хараулахского хребта, окаймляющего с запада губу Буор-Хая моря Лаптевых.

В геологическом отношении территория оз. Севастьян-Кюеле и прилегающего к нему Приморского края сложена ниже-среднекаменноугольными аргиллитами, реже алевролитами и песчаниками тиксинской свиты. Аргиллиты сильно разбиты трещинами, порой находятся в состоянии «разборной скалы» и чрезвычайно легко поддаются выветриванию и денудации.

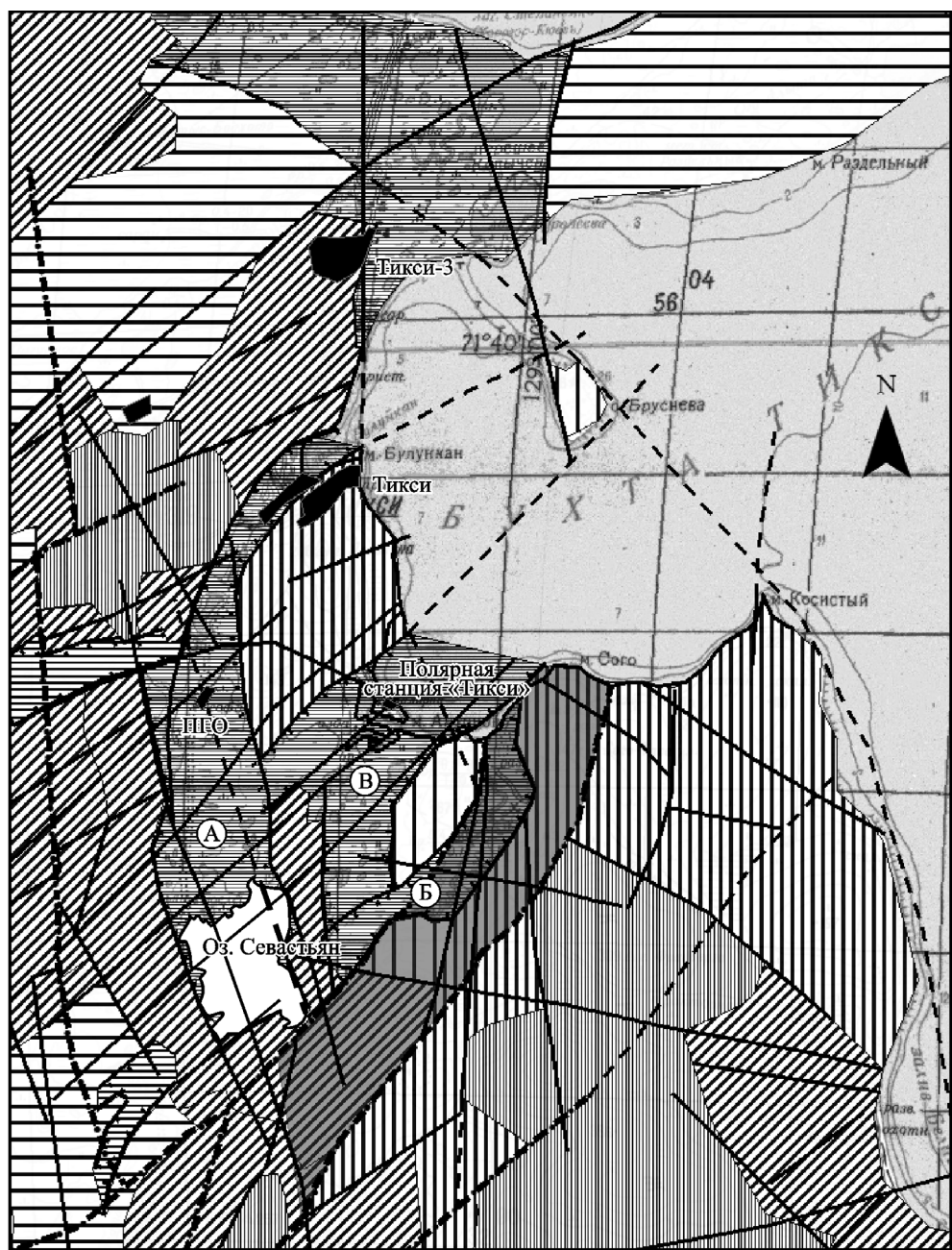
Расположение региона оз. Севастьян-Кюеле в пределах западного обрамления продолжения в континентальную область срединно-океанического хребта Гаккеля [4] обуславливает активные блоковые вертикальные движения территории в новейшее тектоническое время.

Котловина оз. Севастьян-Кюеле и прилегающая к ней с севера низменная равнина лежит в углублении крупного грабена, вытянутого в субмеридиональном направлении. Скальное днище этой котловины, как и соседних, представляет собой плоскую поверхность, протягивающуюся на километры. Мощность четвертичных (преимущественно торфяных или грубообломочных) отложений здесь не превышает 1—2 м. Соседние, более поднятые, блоки значительно расчленены, а разрывные нарушения, секущие их, продолжают и в днище грабена, что отчетливо видно на космических снимках по ориентировке гряд и растительности, однако почти не выражается в рельефе, который остается плоским (рис. 2).

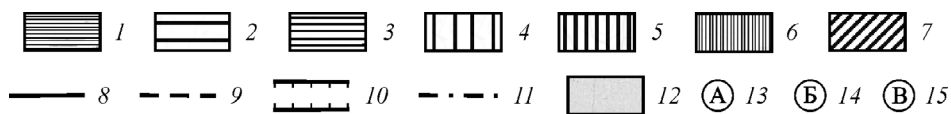
Часть котловины заполнена водой, образующей оз. Севастьян-Кюеле площадью 7.6 км². Водосбор озера вытянут с запада на восток, его площадь равна 80 км². Максимальные высотные отметки (до 352.2 м) расположены на западном краю водосбора. Урез воды в озере по данным карты масштаба 1:100 000 имеет высотную отметку 12.1 м. Нивелированием, проведенным 4 августа 2011 г. от истоков р. Копчик-Юряге до уровня моря, подтверждено это значение. С северо-запада в озеро впадают р. Севастьян-Юряге и несколько мелких ручьев со склонов куэст (высотой до 211 м) западного побережья озера. Втекающая река образует дельту, постепенно наступающую и сокращающую площадь озера с севера. Из озера вытекает р. Копчик-Юряге, практически в том же месте, где впадает основной приток — р. Севастьян-Юряге. Это расположение притока и истока на севере озера имеет большое значение для режима накопления наносов в озере. Значительная часть взвешенных наносов выносятся истекающей рекой, не успев отложиться на дне водоема.

Изучение озера началось в 2006 г. зимними промерами, показавшими мелководность водоема и его промерзание в зимний период до дна. В 2011 г. проведены дополнительные эхолотные промеры, позволившие построить батиметрическую схему озера (рис. 3). В апреле 2008 г. донные отложения были пробурены двумя скважинами (рис. 1) со льда до глубины 2.3 м ниже дна озера. Отложения представлены темно-серым глинистым алевритом с примесью песчаного, гравийного, мелко-галечного материала. На глубине 2.2 м в скважине № I (71°31'01.8" с. ш., 128°48'39.4" в. д.) и на глубине 1.95 м в скважине № II (71°31'41.3" с. ш., 128°47'42.0" в. д.) вскрыты подстилающие дочетвертичные породы — темно-серые алевролиты и углистые сланцы. Из-за мелководности озера (максимальная, измеренная во время паводочного повышения уровня глубина — 2.5 м) озерный лед практически повсеместно ложится на дно и влияет на состояние верхней границы многолетней мерзлоты. Несквозной талик под озером во время бурения (апрель 2008 г.) залегал до глубины 2.3 м ниже дна, а подо льдом верхняя часть озерных осадков промерзала до глубины 1.1 м. Глубина талика и слоя зимнего промерзания под озером, вероятно, испытывают колебания в зависимости от суровости зимы и сроков полного промерзания и вскрытия водоема ото льда.

Результаты радиоуглеродного датирования осадков оказались противоречивыми. Датирование образца на глубине 0.89—0.93 м показало возраст



км 0 1 2 3 4 км



одних и тех же осадков по фракции гуминовых кислот 5690 ± 30 л. н. (KIA 38 587), а по фракции щелочного остатка — $19\,080 \pm 100$ л. н. (KIA 38587). Специалисты Лаборатории Лейбница Университета Кристиана-Альбрехта (г. Киль, Германия), в которой выполнено AMS-датирование образцов донных отложений, считают, что первая датировка более надежна. В связи с такой неопределенностью датирования для построения возрастной модели накопления осадков летом 2011 г. в бассейне озера произведены гидрологические исследования для подсчета баланса наносов и скорости современного осадконакопления.

Измерялись расходы воды и наносов в устье р. Севастьян-Юряге, мелких ручьях, впадающих в озеро с западного склона его котловины, и в вытекающей р. Копчик-Юряге. Результаты измерений таковы. Во время летней межени в озеро поступает мало воды и осадков — $0.61 \text{ м}^3/\text{с}$ и 1.33 г/с соответственно. Во время дождевых паводков эти величины возрастают в сотни раз. Устье р. Севастьян-Юряге вместо одной протоки разливается 7—10 протоками и поставляет в озеро $7.89 \text{ м}^3/\text{с}$ воды и 718 г/с наносов, к которым добавляются $0.16 \text{ м}^3/\text{с}$ воды и 0.96 г/с наносов с западного склона озерной котловины. Это практически все водотоки, несущие воду и наносы в озеро, за исключением совершенно незначительного потока с востока из оз. Севастьян-Восточного, практически лишенного наносов. Измерения проведены только дважды — в период межени и мощного дождевого паводка. Поэтому поступление наносов в озеро рассчитано исходя из того, что в озеро вода может поступать с июня по середину сентября. Причем в июне талая вода со склонов несет мало наносов. Активный период поступления наносов в озеро — конец июня—август. За этот период в расчетах принято 27 сут паводочного режима и 50 сут меженного, что отражает режим погоды в бассейне озера и активный период стока в конце июня—начале июля. Расчеты показали, что в озеро за летний период может поступить до 1700 т наносов. Вытекающая р. Копчик-Юряге во время половодья выносит $1.3 \text{ м}^3/\text{с}$ воды и 95 г/с наносов. В результате большего поступления воды уровень в озере во время паводка растет и затем медленно срабатывается в течение нескольких дней. Так, во время паводка, вызванного непрерывными дождями в течение суток 1—2 августа 2011 г., уровень воды в озере к 4 августа поднялся на 20 см. Для его сработки потребовалось порядка 10 дней, так как из озера вытекает поток, несущий

Рис. 2. Схема тектонического строения региона оз. Севастьян-Кюеле.

Тектонические блоки. 1) с плоской поверхностью: 1 — крупные относительно опущенные (до 30 м над ур. моря), 2 — крупные относительно поднятые (30—100 м над ур. моря), 3 — днища небольших грабенов, относительно поднятые (40—100 м над ур. моря); 2) с выпуклой поверхностью: 4 — слабоподнятые (до 100 м над ур. моря), 5 — среднеподнятые (до 200 м над ур. моря), 6 — значительно поднятые (до 30 м над ур. моря); 3) с сильно расчлененной поверхностью: 7 — среднеподнятые (до 200 м над ур. моря).

Разрывные нарушения и линеаменты. Выделенные по результатам полевых наблюдений и линеаментного анализа рельефа с помощью топографических карт и космических снимков: 8 — отчетливо выраженные (протяженные линейно вытянутые скальные уступы, острые гребни, спрямленные участки русел водотоков, линейно вытянутые спрямленные уступы, ущелья и трещины в склонах, цепочки озер, расположенные на одной линии, и др.); 9 — предполагаемые (перекрытые рыхлыми отложениями, выраженные в рельефе, но плохо читающиеся на космическом снимке, расположенные на дне водоемов и др.); 10 — амплитудные, борта крупных грабенов; 11 — разломы, выделенные по геологическим данным (Геологическая карта СССР., 1978); 12 — пределы грабена Сого в палеогеновое время; 13 — Севастьяновский грабен; 14 — грабен Сого, современный; 15 — грабен полярной станции Тикси.

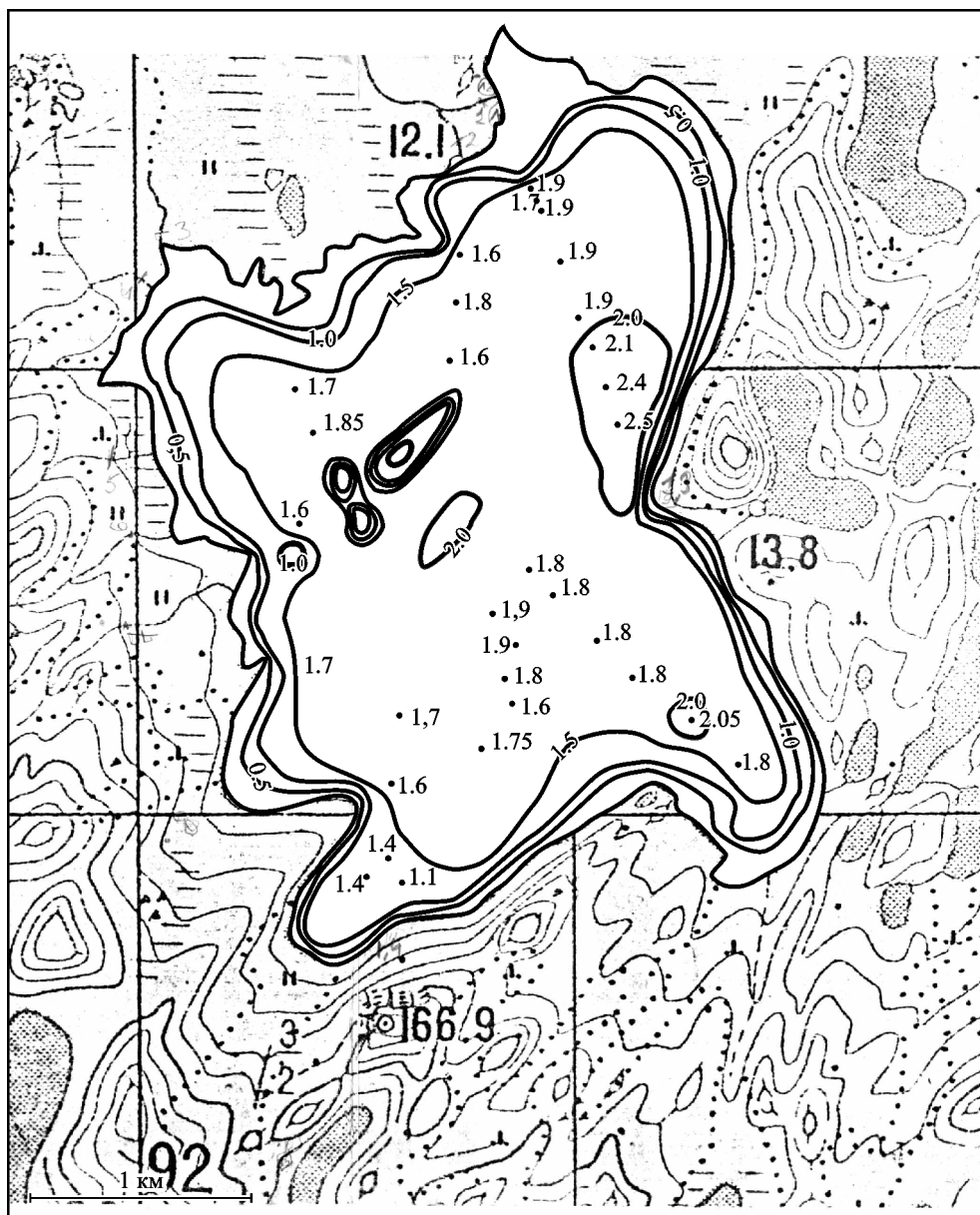


Рис. 3. Батиметрическая схема оз. Севастьян-Кюеле.

примерно в 6 раз меньше воды, чем поступало во время паводка. Вследствие того что вытекающая река расположена рядом с устьем р. Севастьян-Юряге, часть наносов выносится из озера транзитом, часть — в течение всего лета. Сумма выносимых рекой наносов может достигать 480 т. В озере, таким образом, остается около 1220 т осадков. И эти осадки в основном откладываются в северной половине озера, чему способствуют и острова, являющиеся барьером для распространения наносов равномерно по всей площади озера. Поэтому южнее островов даже во время паводков взвешенных осадков мало (мутность воды 4.5 г/м³).

С другой стороны, неравномерность распределения наносов по площади дна сглаживается взмучиванием наносов во время штормов вследствие малой глубины озера. За счет взмучивания и переотложения наносов происходит их более равномерное распределение по площади дна.

Если считать накопление осадков равномерным по всей площади дна, то 1220 т осадков на площади 7.6 км² дает 16 мг/см², что составляет 0.09 мм годового слоя осадков при плотности последних 1.73 г/см³ или 0.28 мм при плотности осадков 0.58 г/см³ [2]. Такая скорость осадконакопления находится в большем соответствии с радиоуглеродной датировкой отложений 5690 лет на глубине 90 см (0.16 мм/год), чем с датировкой 19 080 л. н. (0.05 мм/год). Гидрологические измерения и расчеты дали возможность определить порядок величины современного осадконакопления в оз. Севастьян-Кюеле. Однако нет гарантий того, что в прошлом скорость осадконакопления не изменялась. Исходя из палеоклиматических построений можно даже утверждать, что она изменялась на протяжении существования озера.

Для построения модели скоростей осадконакопления потребовалась дополнительная информация. С этой целью отложения были подвергнуты исследованиям с помощью спорово-пыльцевого и диатомового методов [3].

Спорово-пыльцевым методом изучен каждый 4—6 см слой отложений колонки из скважины № I мощностью 190.5 см. Пробы из интервала 190—133 см слабо насыщены микрофоссилиями, 2 нижних образца с глубины 180 и 190 см содержали единичные зерна пыльцы и спор. Пыльца и споры, обнаруженные во всех пробах, отличались плохой сохранностью (смятые, минерализованные, очень мелкие). Кроме того, на протяжении всей колонки встречались уродливые формы пыльцевых зерен *Betula sect. Nanae*. В каждом слайде было подсчитано от 200 до 450 зерен. Кроме пыльцы и спор в пробах было подсчитано содержание пресноводных зеленых водорослей *Pediastrum*. По результатам спорово-пыльцевого анализа построена диаграмма, на которой было выделено 6 пыльцевых зон (Sev-1—Sev-6) (рис. 4). Процентное содержание каждого пыльцевого и спорового таксона подсчитано от общей суммы пыльцы наземных растений, за исключением водных.

Палинозона Sev-1 (гл. 190—175 см), *Poaceae*—*Cyperaceae*—*Artemisia*—*Salix*. Количество пыльцы травянистых растений составляет 50—55 % и представлено в основном пыльцой *Poaceae* (20—40 %), *Cyperaceae* (5—25 %) и *Artemisia* (5—7 %). В группе древесно-кустарниковых пород преобладает пыльца *Betula sect. Nanae* (~25 %), *Alnus fruticosa* (7—17 %) и *Salix* (5—15 %). Группа споровых растений представлена *Sphagnum* (3 %) и *Polypodiaceae* (4 %).

Sev-2 (гл. 175—145 см), *Betula sect. Nanae*—*Alnus fruticosa*—*Ericales*. В спектрах резко возрастает содержание пыльцы *Betula sect. Nanae* (до 55 %) и *Alnus fruticosa* (до 40 %), также увеличивается содержание *Ericales* до 5 %.

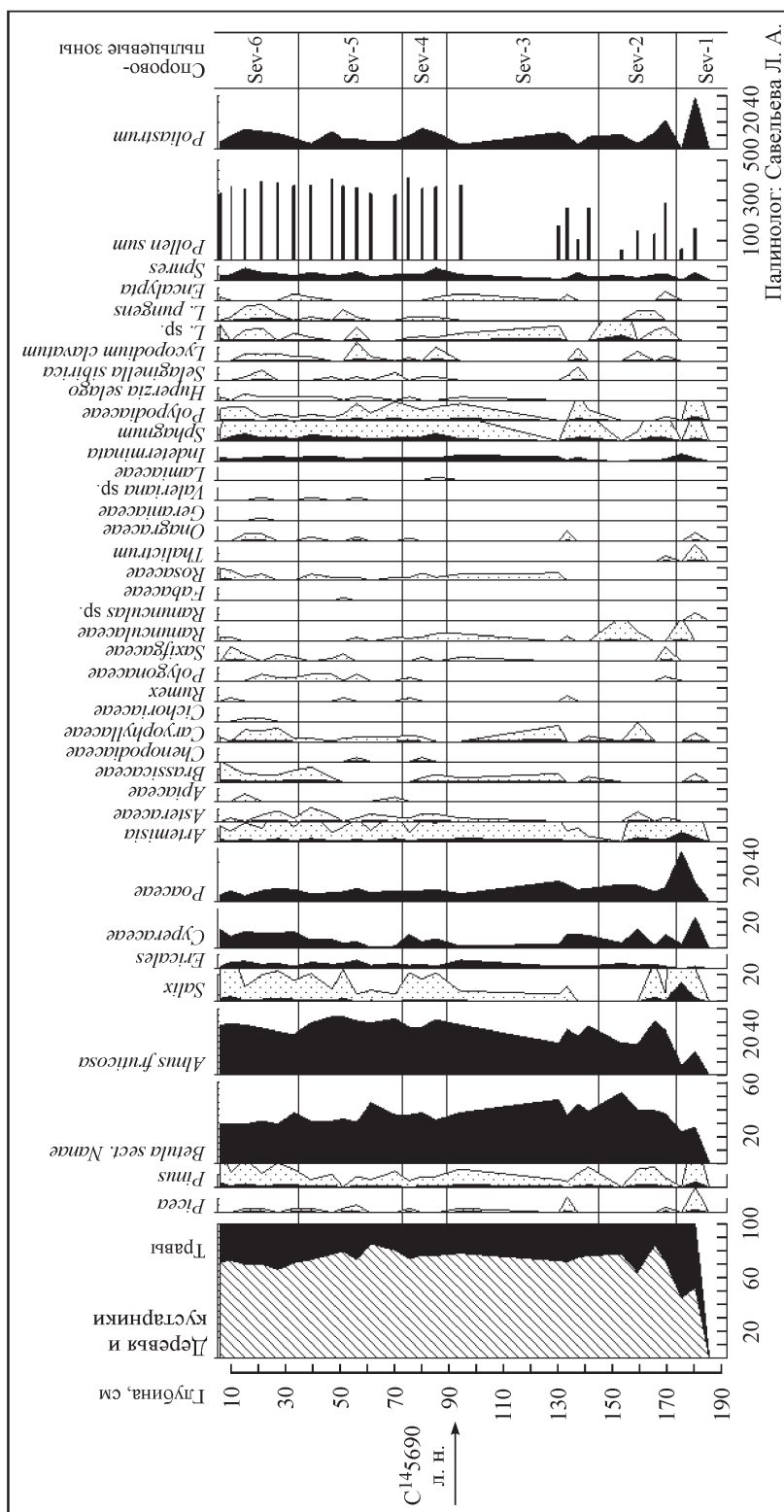


Рис. 4. Спорово-пыльцевая диаграмма по колонке донных отложений из скважины № I на оз. Севаст'ян-Кюеле.

Количество пыльцы трав падает до 20 %. В группе споровых растений появляются споры разнообразных плаунов (*Lycopodium clavatum*, *L. pungens*, *L. sp.*).

Sev-3 (145—89 см), *Betula sect. Nanae*—*Alnus fruticosa*. В спектрах доминирует пыльца *Betula sect. Nanae* и *Alnus fruticosa*, появляется пыльца *Salix*. В верхней части палинозоны резко сокращается участие пыльцы *Cyperaceae* и *Poaceae*. Споровые растения присутствуют в незначительном количестве. Данный интервал в 56 см представлен всего 5 образцами.

В верхней части разреза значительных изменений в составе спорово-пыльцевых спектров не наблюдается. Однако колебания кривой процентного содержания пыльцы *Cyperaceae* позволили выделить еще 3 палинозоны.

Sev-4 (89—73 см), *Salix*—*Cyperaceae*—*Sphagnum*. В спектрах фиксируется увеличение количества пыльцы *Cyperaceae* до 10 % и *Salix* до 3 %, а также некоторое снижение *Ericales* по сравнению с нижележащей зоной. Общее количество споровых растений увеличивается до 6 % за счет спор *Sphagnum*. Содержание основных компонентов спектров *Betula sect. Nanae* и *Alnus fruticosa* колеблется в пределах 35—40 %.

Sev-5 (73—35 см), *Ericales*. Основанием для выделения данной палинозоны являются резкое сокращение участия пыльцы *Cyperaceae* с 10 до 1 % и повышение содержания пыльцы *Ericales* до 6 %.

Sev-6 (35—0 см), *Alnus fruticosa*—*Salix*—*Cyperaceae*. В группе пыльцы древесно-кустарниковых пород преобладает пыльца *Alnus fruticosa* (30—40 %) и *Betula sect. Nanae* (30—35 %), наблюдается увеличение содержания пыльцы *Salix* до 4 %. Среди травянистой растительности увеличивается количество пыльцы *Cyperaceae*.

Результаты спорово-пыльцевого анализа показывают, что на протяжении времени формирования вскрытой толщи отложений наиболее суровые (холодные) климатические условия сложились во время формирования спорово-пыльцевых спектров палинозоны Sev-1, когда на окружающей территории преобладали фитоценозы травянистой арктической тундры. Состав спектров палинозоны Sev-2 отражает потепление, которое способствовало распространению кустарниковой березы и ольховника. С высокой долей уверенности можно допустить, что спорово-пыльцевая диаграмма в нижней части колонки (на глубинах 180—170 см) фиксирует переход от неоплейстоцена к голоцену, когда арктическая тундра на данной территории замещается ландшафтами южной тундры. В таком случае радиоуглеродная датировка в 5690 лет на глубине 90 см и палинологическая датировка границы голоцена на глубине 175 см дают вполне сравнимые скорости седиментации (0.16 мм/год за 5690 лет и 0.18 мм/год за 10 000 лет). Как видно из радиоуглеродных датировок, пыльцевого анализа и гидрологических расчетов, скорости седиментации в оз. Севастьян-Кюеле сравнительно низкие, несмотря на то что площадь водосбора озера более чем в 10 раз превосходит площадь водного зеркала озера. Мелководность и значительный вынос материала из озера вытекающей протокой способствуют малой скорости осадконакопления. К тому же в бассейне озера в основном распространены дочетвертичные образования, которые не способствуют значительному насыщению потока наносами.

Из спорово-пыльцевых данных и рассчитанных скоростей осадконакопления следует, что озеро образовалось около 13 тыс. л. н. в эпоху сурового климата, когда окружающие горы освобождались от местных ледников. Накопление спор и пыльцы травянистых растений началось около 11 тыс. л. н. На

рубеже плейстоцена и голоцена в бассейне озера произошло значительное потепление, которое выразилось в пребореале ростом значения в растительном покрове сначала ивы, затем ольховника и, наконец, карликовой березы. Спорово-пыльцевая диаграмма показывает, что климатический оптимум голоцена был здесь в пребореале и бореале, что ранее отмечалось по другим спорово-пыльцевым данным для данного региона [1, 6]. Более поздние отрезки голоцена не очень контрастны по изменениям в составе спорово-пыльцевых спектров. И по ним трудно выделить какие-либо изменения климата последнего тысячелетия из-за малой скорости накопления осадков, редких для таких задач образцов и, несомненно, отрицательной роли для выделения палеоклиматического сигнала озерного льда, который часто ложится на дно водоема. Однако на спорово-пыльцевой диаграмме выделяется период, более благоприятный для произрастания древесных растений на глубинах 50—60 см, что соответствует возрасту 3700—3100 лет.

Диатомовый анализ донных отложений проведен по 18 образцам (с интервалом 4.5—7.4 см) части колонки из скважины № I. Длина проанализированной части колонки составила 94 см.

Выявленная диатомовая флора донных осадков оз. Севастьян состоит из 72 видов, относящихся к 23 родам, 12 семействам, 4 порядкам и 2 классам отдела *Bacillariophyta*. Все они относятся к современной флоре. Планктонные диатомеи составляют всего 3.2 % общего числа таксонов и представлены только *Aulacoseira subarctica* (O. Mull.) Haworth, *Aulacoseira lirata* (Ehr.) Sim. и *Cyclotella meneghiniana* Kutz. Наибольшее видовое разнообразие принадлежит бентосным диатомеям, составляющим 96.8 % общего количества таксонов: *Pinnularia* (7 видов), *Achnanthes*, *Eunotia* и *Cymbella* (по 6 видов), *Fragilaria*, *Gomphonema*, *Navicula* и *Neidium* (по 5 видов), *Diploneis* (4 вида), *Stauroneis* и *Amphora* (по 3 вида). Остальные роды (52.2 %) имеют по одному или два вида.

По составу и характеру диатомовых комплексов в колонке отложений озера выделены четыре зоны (рис. 5, 6).

В интервале глубин 94—40.0 см (**первая зона — D-I**) в большинстве проб (55 %) содержание створок в образцах фрагментарное, что не позволяет определить ни вида, ни рода водорослей. В остальных пробах (45 %) зафиксированы единичные экземпляры целых створок из родов *Eunotia* (*E. arcus*, *E. prae-rupta*, *E. serra*), *Cymbella* (*C. sinuata*), *Fragilaria* (*F. ulna*), *Meridion* (*M. circulare*), *Tabellaria* (*T. flocculosa*), *Navicula* (*N. jaernefeltii*), *Sellaphora* (*S. pupula*), *Diploneis* (*D. ovalis*). Фрагменты створок принадлежали эпифитным (*Cymbella*, *Eunotia*) и донным (*Pinnularia*, *Stauroneis*, *Neidium*, *Hantzschia*) формам. Из

Рис. 5. Диатомовая диаграмма для колонки донных отложений из скважины № I на оз. Севастьян-Кюеле.

Литологическая характеристика отложений: L1 — черный глинистый алевроит с примесью песчаных и гравийных зерен, слабо окатанных и уплощенных (местами рыжие пятна ожелезнения); L2 — черный глинистый алевроит с редкой примесью песчаных зерен; L3 — коричневатого-темно-серый алевроит с примесью слабо окатанных, преимущественно уплощенных частиц гравия; вверх по разрезу структура становится более грубозернистой; L4 — неравномерное переслаивание черной алевроитистой глины и коричневатого-черного глинистого алевроита; существенная примесь слабо окатанных, преимущественно уплощенных частиц гравия, реже мелкой гальки; L5 — черный глинистый алевроит с примесью песчаных и гравийных зерен, слабо окатанных и преимущественно уплощенных; L6 — черный глинистый алевроит с редкой примесью песчаных зерен (местами рыжие пятна ожелезнения).

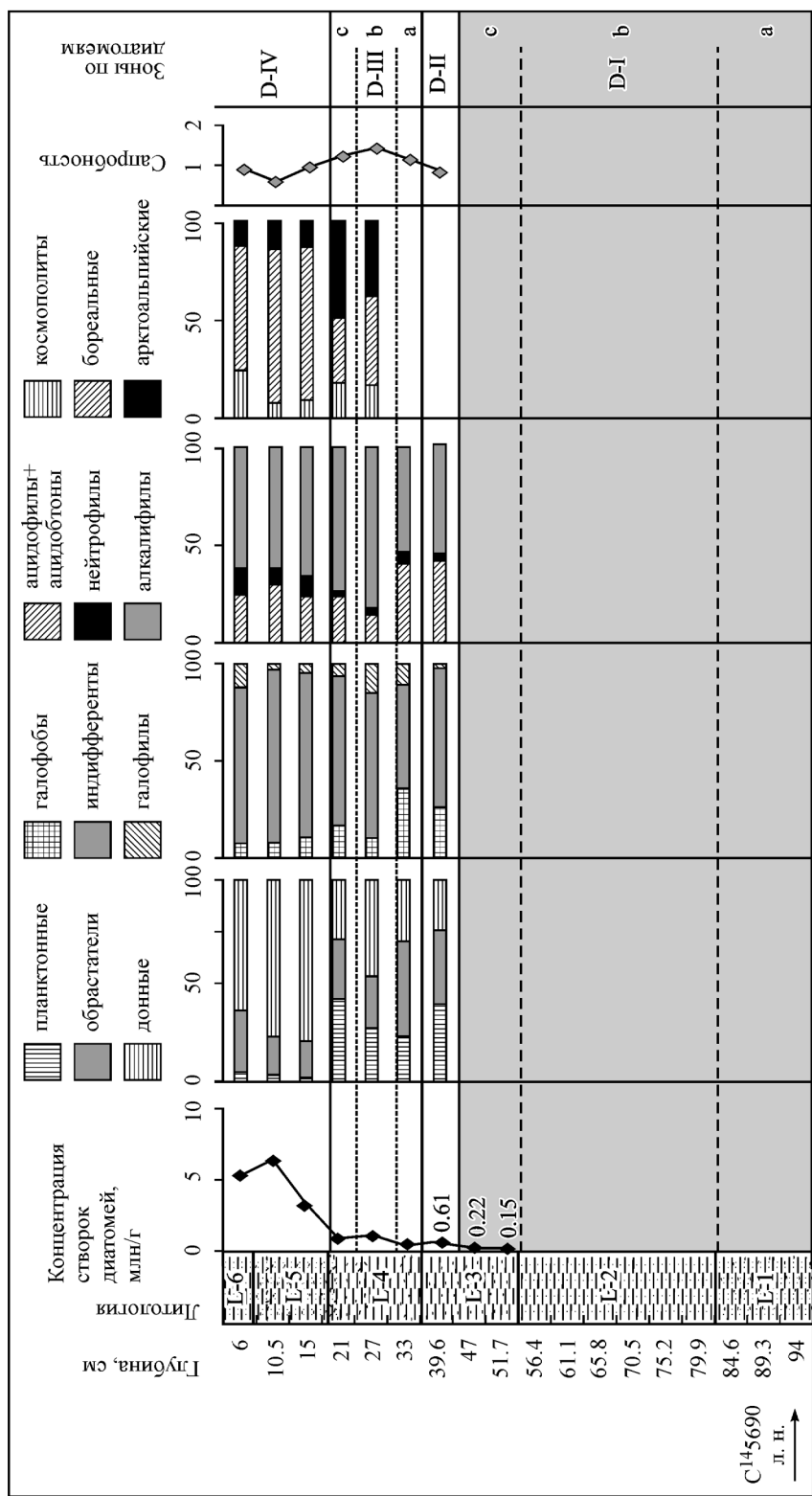


Рис. 6. Эколого-географическая характеристика диатомовых комплексов донных отложений оз. Севаст'ян-Кюеле по колонке из скважины № I.

планктонных видов встречен только *Aulacoseira subarctica* (O. Mull.) Haworth.

Фрагментарность встреченных створок, незначительное видовое разнообразие и низкая концентрация численности (порядка 0.001—0.22 млн в грамме осадка) не позволяют выполнить эколого-географическую характеристику диатомовых комплексов данной зоны (D-I). По изменению численности, составу массовых видов следует условно выделить в пределах зоны D-I локальные фазы.

В первой фазе (интервал 94—80 см, **D-I-a**) найдено всего 10 видов с очень низкими показателями обилия. Концентрация створок низкая (до 0.17 млн в грамме осадка), всего удалось идентифицировать 10 видов, из которых часто встречаются *Eunotia praerupta* и *Cymbella sinuata*. Все они относятся к бентическим формам, характерным для почвенно-болотных биотопов.

Во второй фазе (интервал 80—54.1 см, **D-I-b**) представители диатомовой флоры почти не обнаружены.

В третьей фазе (интервал 54.1—40 см, **D-I-c**) концентрация створок диатомей составила 0.15—0.22 млн/г осадка. Видовой состав увеличился на 6 таксонов за счет эпифитных (*Cymbella cistula*, *Meridion circulare*) и донных (*Caloneis bacillum*, *Diploneis ovalis*, *Sellaphora pupula* и *Stauroneis smithii*) видов.

Во время формирования осадка зоны D-I в экосистеме водоема создались неблагоприятные условия для существования диатомей.

На глубине 40.0—35.0 см (**вторая зона, D-II**) обнаружено 19 видов диатомей. В этом слое осадков абсолютным доминантом становится *Aulacoseira subarctica* (O. Mull.) Haworth (до 33 %) — вид, характерный для планктона олиготрофных вод, который широко распространен в литорали и пелагической зоне главным образом северных и горных водоемов. Из эпифитных в состав доминантов входит *Eunotia praerupta* Ehr. (до 21 %) — типичный вид для болотных биотопов. Субдоминанты: эпифитный вид *Cymbella sinuata* Greg., донные виды — *Stauroneis anceps* и *S. phoenicenteron*. Концентрация створок диатомей возрастает до 0.61 млн/г. В осадках довольно много галофобов (до 28 %) и мало галофилов (не более 2 %), остальные — индифференты. По отношению к щелочности среды преобладающей группой диатомей являются алкалифилы (53 %), ацидофильные диатомеи дают до 41 % створок в осадках. Суммарный индекс сапробности равен 0.95.

В третьей зоне (**D-III**, интервал 35—18.5 см) наблюдается незначительный рост численности диатомей (до 1.04 млн/г), видовое разнообразие остается на том же уровне (17—19 видов). По-прежнему абсолютно господствует *Aulacoseira subarctica* (до 38 %), а *Eunotia praerupta* (до 22.5 %), доминирующий в нижних и верхних слоях, в интервале 27—21 см заменен донным видом *Sellaphora pupula* (до 12.3 %) — широко распространенным пресноводно-солончатководным видом, убиквистом. Список субдоминантов возрастает за счет донных форм (*Amphora ovalis*, *Caloneis bacillum*, *Pinnularia* spp.), планктонного *Cyclotella meneghiniana* и эпифита *Tabellaria flocculosa*. По-прежнему *Cymbella sinuata* и *Stauroneis phoenicenteron* остаются в «массе».

По изменению численности, составу массовых видов и по структуре эколого-географических показателей [5] можно выделить в пределах зоны D-III отдельные фазы.

Первая фаза включает слои осадка (интервал 35.0—33.5 см, **D-III-a**), где найдено 19 видов диатомей. Концентрация створок по сравнению с преды-

дущей зоной D-II снижается (до 0.47 млн/г). Доминирующий комплекс по-прежнему состоит из двух видов, но происходит изменение их количественных соотношений: *Eunotia praerupta* — до 22.5, *Aulacoseira subarctica* — до 13.5 %. Состав субдоминантов обогащается за счет планктонного галофильного вида *Cyclotella meneghiniana* и эпифитного галофобного *Tabellaria flocculosa*. В диатомовых комплексах преобладают эпифиты (до 47.2 %) и пресноводные индифференты (до 47.2 %). Наивысшей численности в это время достигают диатомеи кислых болотных сообществ. Индекс сапробности равен 1.15.

Во второй фазе (интервал 33.5—24.0 см, **D-III-b**) отмечен высокий рост численности диатомей — до 1.04 млн/г, а разнообразие их сократилось на два вида. Состав массовых видов пополняется за счет донных форм — *Sellaphora pupula* (до 12.3 %), пресноводно-солонатоводного вида и *Caloneis bacillum*, пресноводного вида, широко распространенного на дне прудов, озер и рек. В целом в диатомовых комплексах преобладают донные (48.1 %), индифферентные (63 %) и алкалофильные (69.1 %) диатомеи. Доля участия холодноводных форм возрастает до 1.4 раза. Индекс сапробности — 1.45.

Третья фаза (интервал 24.0—18.5 см, **D-III-c**) характеризуется снижением численности диатомей (0.91 млн/г) и повышением видового разнообразия (до 20 видов). В число доминантов возвращается *Eunotia praerupta* (до 11.4 %). Список субдоминантов состоит только из одного вида — *Amphora ovalis*, распространенного на дне стоячих водоемов. Содержание планктонных видов в осадках максимальное (40.9 %) при равной доле участия обрастателей и донных (по 29.5 %). Растет роль индифферентных диатомей (до 72.7 %), ацидофилов (до 23.5 %) и арктоальпийских холодноводных форм (до 43.9 %). Индекс сапробности — 1.23.

В последнем отрезке времени (интервал глубин 18.5—0 см, **D-IV**) в развитии диатомовых водорослей отмечены богатое видовое разнообразие (57 видов) и высокая концентрация их створок (до 6.44 млн/г).

Максимум продуктивности диатомей в водоеме приходится на горизонт 11—6 см. Сохранность створок хорошая. Состав диатомового комплекса достаточно однороден в экологическом и стратиграфическом отношениях.

По результатам диатомового анализа можно выделить несколько этапов развития водоема начиная с временного интервала около 6000 л. н. Диатомовые водоросли очень слабо представлены в интервале 80—54 см, что соответствует возрасту 5—3.4 тыс. л. н. Вероятно, этот интервал характеризовался суровыми климатическими условиями, когда водоем, промерзающий до дна и в настоящих условиях, не освобождался ото льда окончательно в течение летних месяцев. Рост численности диатомей к рубежу 3000 л. н., вероятно, обусловливался потеплением, что видно и по составу спорово-пыльцевых спектров в интервале глубин 60—50 см (возраст 3.7—3.1 тыс. л. н.) — здесь наблюдаются пики древесных пород. Рубеж в 3000 л. н. отмечен нами в районе дельты р. Лена заметным потеплением климата, отраженным в продвижении границы леса вниз по р. Лена, вплоть до верхней части ее дельты [8].

Очень заметный интервал с особенным составом диатомей глубин 33.5—24 см, соответствующий возрасту 2.1—1.5 тыс. л. н. В составе диатомей резко сокращаются галофобы и растет доля галофильных водорослей; также резко возрастает роль водорослей, предпочитающих щелочную среду обитания; пресноводные виды сокращаются, но увеличивается доля пресноводно-солонатоводного вида *Sellaphora pupula* (до 12.3 %); заметно повышается роль холодноводных видов. Все это свидетельствует о морском влия-

нии. В этот период, вероятно, усилилась связь озера с морем за счет подъема уровня последнего. Позже вода становится менее соленой, щелочной и холодной.

Наибольший расцвет диатомовых водорослей, максимум их разнообразия приходится на интервал глубин 11—6 см (700—380 л. н.), что свидетельствует о благоприятных климатических условиях. За этим благоприятным для развития растительности временем наступил Малый ледниковый период, отмеченный резким падением численности диатомовых водорослей. Этап потепления последнего столетия не зафиксирован, так как образцы отобраны не с такой частотой, которая позволила бы охарактеризовать такие короткие интервалы развития озера.

Полученные палеоклиматические результаты необходимо сравнить с результатами других исследователей, работавших в районе оз. Севастьян-Кюеле в 1990 г. [7]. Ими с помощью грунтовых трубок были получены керны отложений из двух озер в окрестностях пос. Тикси. Одно озеро в 5 км северо-западнее Тикси — оз. Ладанное в долине р. Хорогор. Второе озеро — Севастьян-Восточное. Это озеро наиболее интересно для сравнения, так как расположено в пределах водосборной площади оз. Севастьян-Кюеле (рис. 1), в непосредственной близости от последнего, и его воды стекают в оз. Севастьян-Кюеле. Озеро Севастьян-Восточное имеет протяженность по длинной оси около 1 км. Оттуда упомянутыми авторами отобраны несколько колонок донных отложений длиной до 1.5 м. Глубина воды в точках отбора составила 3.6 м [7]. Проанализирована колонка № 8, имевшая длину 134 см. Авторы нашли в нижней части колонки (134—101 см) диамиктон, представленный темно-серым алевроитом с фрагментами глинистых сланцев и назвали его тиллом ледниковой лопасти, наступавшей с северо-востока — с шельфа моря Лаптевых. Бурение донных отложений оз. Севастьян в двух точках, как указано выше, никакого тилла не обнаружило. Озерные глинистые алевроиты в 15 см выше контакта с дочетвертичными породами насыщены обломками последних — сланцев и алевролитов. Никаких признаков морены в этом переходном слое нет. Да и как-то странно выглядят эти отложения, называемые мореной (всего 15—20 см диамиктона) Лаптевоморского ледникового щита. Бурение четко показало, что переходный слой озерных отложений имеет очень малую мощность, в то время как упомянутые исследователи не имели возможности вскрыть коренные породы, что давало им право предположить какую угодно мощность «морены». Кроме того, «морена» с глубины 134—101 см содержит комплекс спор и пыльцы, характерной для лесотундры [7]. Попытки объяснить этот факт переотложением пыльцы ледником из подстилающих осадков выглядит совершенно неубедительно. Датирование отложений (мхи из озерных осадков) также дало неоднозначный результат. Радиоуглеродная датировка с глубины 96—101 см показала возраст 8500 л. н., а с глубины 84—85 см — 3980 л. н. Первая из этих датировок выглядит более убедительной, так как она близка к началу голоцена, который выявляется по спорово-пыльцевым данным, как и в скважине № I из оз. Севастьян. Вторая датировка, вероятнее всего, неправильно отражает возраст озерных осадков. Дело в том, что скорость осадконакопления в оз. Севастьян-Восточное в интервале глубин 100—85 см получается очень медленной — 0.03 мм/год за время в 4500 лет (8500—4000 л. н.). Причем по спорово-пыльцевым данным этот интервал отличается максимально благоприятными за голоцен условиями для произрастания березы и ольховника. Значит, это было максимально

теплое время, а в теплый период голоцена скорости осадконакопления в озере не могли быть минимальными за рассматриваемый период времени. Вышележащие отложения (84—0 см) при явном ухудшении климатических условий, что следует из спорово-пыльцевых данных, откладывались в течение 4000 лет со скоростью, на порядок большей, — 0.2 мм/год. Исходя из этих соображений представляется, что датировка отложений на глубине 84—85 см в 3980 л. н. некорректна. Тогда наиболее теплый период времени голоцена относится ко времени, близкому 8500 л. н., что соответствует и данным по скважине № I в оз. Севастьян-Кюеле. Заключение авторов о климатическом оптимуме голоцена 6500 л. н. по данным из колонки оз. Ладанного не обоснованно, так как в ней не представлены слои более глубокие, чем те, что были датированы возрастом 6500 лет, и отсутствует, таким образом, информация о начале голоцена. Если скорость осадконакопления в оз. Севастьян-Восточное составляла 0.12 мм/год, что соответствует датировке осадков в 8500 лет на глубине 101—96 см, то заметное потепление, отмеченное спорово-пыльцевыми спектрами на глубине 40—20 см, произошло в интервале времени 3300—1700 л. н. А по данным спорово-пыльцевого анализа колонки из скважины № I оз. Севастьян такое потепление наступило 3700—3100 л. н. Спорово-пыльцевые данные колонок из оз. Севастьян-Кюеле и Севастьян-Восточное в целом достаточно похожи как по составу спектров, так и по изменениям в составе растительности в бассейне озера в течение голоцена. Эти данные также хорошо отмечают начало голоцена.

Таким образом, бурение осадков оз. Севастьян-Кюеле показало, что озеро образовалось около 13 тыс. л. н. Никаких следов оледенения на дне озерной котловины не обнаружено. Наиболее теплое время голоцена наступило в пребореале и бореале. В атлантическое время голоцена 5—3.4 тыс. л. н. было достаточно холодно, что вызывало длительную устойчивость ледового покрова на озерах. Заметное потепление фиксируется осадками возрастом, близким к 3000 лет. Существенное событие произошло около 2000 л. н., когда в озеро проникали морские воды. Высота подъема уровня моря Лаптевых тогда составляла около 10—12 м, что не приводило к полному затоплению озера и оно продолжало существовать как озеро, но вода в нем становилась более щелочной, развивались солоноватоводные виды диатомей. Трансгрессия длилась, по-видимому, несколько сотен лет. Разброс датировок вполне объясним трудностями построения модели скоростей осадконакопления и ошибками датирования.

Комплексное изучение озера и его осадков позволило получить палеогеографические данные даже из мелководного бассейна, что обычно не удается сделать из-за сложных механизмов седиментации в мелких озерах, сильно зависящих от режима гидрометеорологических факторов синоптического масштаба времени (штормы, промерзание водоема), сноса в озеро более древних осадков и их накопления в составе более молодых отложений. Исследования показали, что каждая датировка отложений нуждается в проверке или другими датировками или с помощью применения более широкого спектра исследований озерного бассейна.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 10-05-00727а «Естественные колебания климата российской Арктики в последнем тысячелетии на основании изучения озерных отложений», а также гранта № 11.G34.31.0025 правительства Российской Федерации, предоставленного Санкт-Петербургскому государственному университету.

Список литературы

- [1] *Большаинов Д. Ю.* Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. СПб.: ААНИИ, 2006. 296 с.
- [2] *Большаинов Д. Ю.* Осадконакопление в современном приледниковом озере (на примере оз. Изменчивое, архипелаг Северная Земля) // Вестн. ЛГУ. 1985. Сер. 7, вып. 1. С. 43—50.
- [3] *Большаинов Д. Ю., Савельева Л. А., Пестрякова Л. А., Вахрамеева П. С.* Изменения климата в низовьях р. Лена по данным изучения озера Севастьян-Кюеле (р-н пос. Тикси) // Материалы Междунар. конф. «Геоморфологические и палеогеографические исследования полярных регионов» (Санкт-Петербург, 9—17.09.2012). СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. С. 261—263.
- [4] *Драчев С. С.* Тектоника рифтовой системы дна моря Лаптевых // Геотектоника. 2000, № 6. С. 43—58.
- [5] *Пестрякова Л. А.* Диатомовые комплексы озер Якутии. Якутск: Изд-во ЯГУ, 2008. 177 с.
- [6] *Andreev A., Schirrmeister L., Tarasov P., Ganopolski A., Brovkin V., Siebert C., Wetterich S., Hubberten H.-W.* Vegetation and climate history in the Laptev Sea region (Arctic Siberia) during Late Quaternary inferred from pollen records / Quaternary Science Reviews 30 (2011). P. 2182—2199.
- [7] *Grosswald M. G., Karlen W., Shishorina Z., Bodin A.* Glacial landforms and the age of deglaciation in Tiksi area, East Siberia // Geografiska Annaler. 1992, N 4 (74A). P. 295—304.
- [8] *Kuzmina S., Bolshiyakov D.* Forest insect spectra in Late Holocene deposits of the Lena Delta Terrace, North of the Actual Tree Line // Polarforschung. 2002, N 70. P. 101—105.

Санкт-Петербург

Якутск

bolshiyakov@aari.ru

whitepolarhedgehog@gmail.com

lapest@mail.ru

alisa.baranskaya@yandex.ru

savelieval@mail.ru

* Санкт-Петербургский государственный университет

** Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Амосова

*** Арктический и Антарктический НИИ

Поступило в редакцию

6 ноября 2012 г.