

УДК 551.8:581.526.55:551.34(285.2:571.651)

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ПОЗДНЕЛЕДНИКОВЬЕ И ГОЛОЦЕНЕ ПО ДАННЫМ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД КРАТЕРА ОЗЕРА ЭЛЬГЫГЫТГЫН¹

© 2012 г. Е.А. Морозова*, А.А. Андреев**, Г.Б. Федоров*,
Г. Швамборн***, Л. Ширрмайстер***, Н.Б. Останин****

* Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург

** Институт геологии и минералогии, Университет Кёльна

*** Институт полярных и морских исследований Альфреда Вегенера, Германия

**** Санкт-петербургский государственный университет

Поступила в редакцию 22.02.2011 г.

В статье приведены результаты изучения трех кернов многолетнемерзлых пород из метеоритного кратера озера Эльгыгытгын, имеющего возраст 3.6 млн лет. Палеоботанические реконструкции основаны на данных спорово-пыльцевого анализа и охватывают главным образом позднеледниковье и голоцен. Полученные результаты отличаются большей степенью детальностью по сравнению с данными по озерным кернам, что связано с большей скоростью осадконакопления на суше, чем в озере. Возрастные модели построены по радиоуглеродным датировкам, а также на сопоставлении наших результатов с опубликованными ранее данными.

Введение. Известно, что крупные озера и их донные осадки – это важнейшие объекты исследований для получения палеогеографической информации. В арктической зоне, без преувеличения, наиболее значимым таким объектом является оз. Эльгыгытгын метеоритного происхождения, образовавшееся 3.6 млн л. н. [5, 25] и расположенное в центральной Чукотке (рис. 1). Считается, что за все время своего существования кратер не подвергался покровному оледенению [3, 21], а значит, его озёрные осадки могут содержать в себе уникальную палеоклиматическую информацию. В связи с этим с 1998 г. проводятся комплексные исследования этого объекта. В 2008–2009 гг. был осуществлен крупномасштабный международный проект “Глубокое бурение озера

Эльгыгытгын”, который позволил получить 141.5-метровый керн многолетнемерзлых пород из кратера. Кроме того, результатом данного проекта стал керн из скважины D1, пробуренной в наиболее глубоководной части озера и прошедшей 315-метровую толщу озерных отложений и 200 метров метеоритной брекчии. Изучение этих кернов позволит получить практически непрерывную летопись развития природной среды данного региона за последние 3.5 млн лет.

Поскольку основными методами реконструкции растительности и климата прошлых эпох являются палеоботанические, то спорово-пыльцевому анализу было уделено особое внимание. В рамках проведения международных экспедиций помимо исследования колонок озерных отложений, проводились также работы по изучению адекватности отражения современной растительности в рецентных спорово-пыльцевых спектрах [4, 9–11, 14, 27 и др.]. Исследования показали, что почвенные спектры более адекватно отражают местную растительность, хотя дальнезаносная пыльца в них также присутствует, а роль травянистых растений несколько занижена [4, 9].

¹ Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 10-05-00235-а. Авторы благодарны российско-германской лаборатории им. Отто Шмидта, руководству и участникам международного проекта “Глубокое бурение озера Эльгыгытгын”, Германскому научному фонду (DFG) за финансовую и техническую поддержку на различных этапах исследований, так или иначе отраженных в данной работе. Кроме того, часть приведенных результатов получена в рамках гранта № 11. G34.31.0025 Правительства РФ.

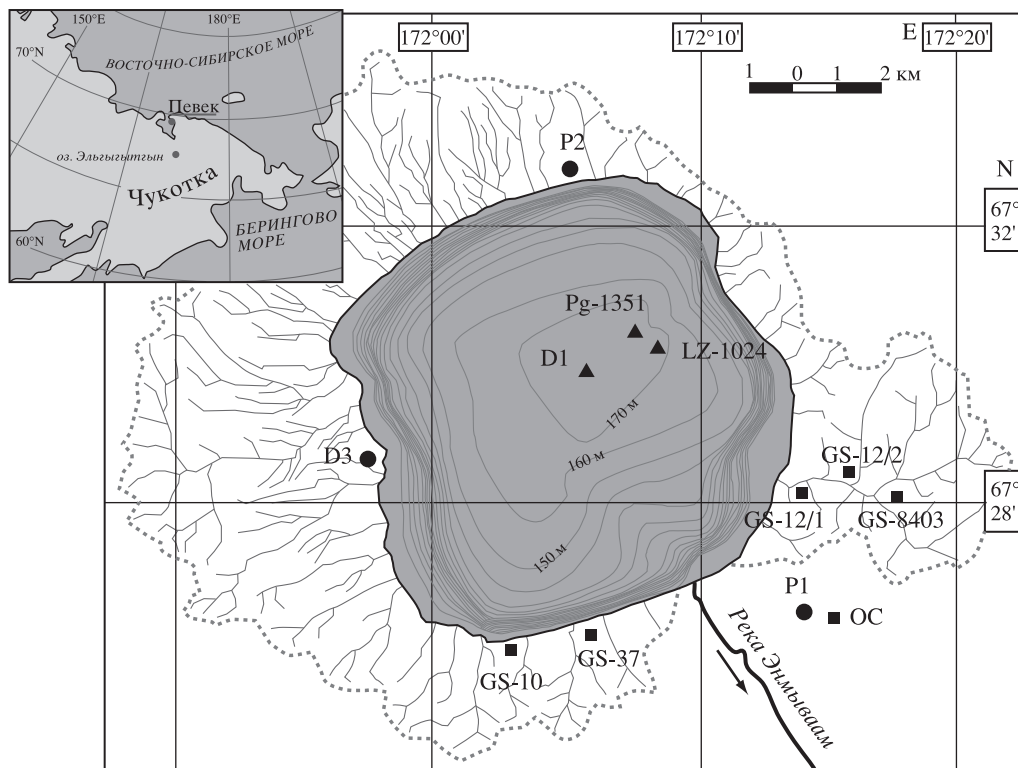


Рис. 1. Карта расположения объекта исследования. Кружками показаны точки отбора кернов многолетнемерзлых пород; треугольниками – точки отбора озерных кернов; квадратиками – местоположение изученных разрезов.

В данной статье представлены реконструкции растительности и климата, охватывающие главным образом позднеледниковье и голоцен. Данные получены на основании изучения кернов многолетнемерзлых пород прежде всего методом спорово-пыльцевого анализа. Результаты наших исследований позволят дополнить палеогеографические реконструкции, выполненные по результатам изучения озерных кернов, которые отличаются меньшей степенью детальности.

Район исследования. Озеро Эльгыгытгын ($67^{\circ}30'$ с.ш., $172^{\circ}05'$ в.д.) расположено в 110 км к северу от полярного круга на территории Чукотского полуострова, примерно в 250 км к югу от пос. Певек (рис. 1). Озеро находится в пределах Анадырского плоскогорья – горной системы, сложенной мезозойскими эффузивами. Урез воды находится на высоте 492 м над уровнем моря. Озеро, дренируемое р. Энмываам, относится к бассейну Тихого океана. Это один из крупнейших пресноводных водоёмов Арктики с максимальной глубиной около 174 м и диаметром водного зеркала около 12 км. Диаметр кратера, обрамляющего озеро, составляет около 18 км [30].

По данным двух автоматических метеостанций, установленных в кратере, среднегодовая температура

воздуха составляет -10°C . Средняя температура января -32 – -36°C , а июля -4 – 8°C [30].

Озеро лежит в зоне распространения многолетнемерзлых пород, мощность которых местами достигает 500 м [13, 36]. Сквозные талики присутствуют лишь под руслами крупных рек и озер. Глубина сезонно-талого слоя на юго-западном берегу озера в 2003 г. составила от 40 см в алевритовых и до 80 см в песчано-гравийных отложениях [36].

Растительность на территории кратера может быть отнесена к северному варианту подзоны типичных тундр [6] или к высотному типу северных гипоарктических тундр [16]. Граница леса проходит “примерно” в 150 км к юго-востоку от озера. На территории кратера преобладает травянистая растительность с редкими участками кустарников, в основном ивняка (*Salix*) или низкорослой кустарничковой берёзы (*Betula exilis*) [10]. Кустарники приурочены к понижениям рельефа или долинам ручьев. Растительный покров не сплошной. На вершинах сопков растительности практически нет.

Среди травянистой растительности преобладают злаки (31 вид), сложноцветные (25 видов), осоковые (27 видов), а также камнеломки, гвоздич-

ные, лютиковые и др. В 10 основных семействах сосредоточено 70% всех видов [4, 27]. Основные типы растительности в окрестностях озера и их привязка к геоморфологическим элементам представлены в книге А.В. Беликович [1].

Материалы и методы исследований. В данной статье представлены результаты исследования трех кернов многолетнемерзлых пород (P1, P2 и D3), расположенных в разных частях кратера оз. Эльгыгытгын.

Керны P1 и P2 длиной по 5 м были отобраны в ходе полевых работ в 2003 г. Точка отбора керна P1 (67°22'26" с.ш., 172°13'10" в.д.) находится примерно в 1.7 км к юго-востоку от озера и располагается на склоне юго-западной экспозиции с углами наклонов около 5°. Проективное покрытие растительности составляет около 80% [36]. КERN P2 (67°32'50" с.ш., 172°07'31" в.д.) был отобран в 12.5 км к северу от предыдущего на субгоризонтальной поверхности (угол наклона < 3°), в 100 м от берега [35, 38]. Территория в данном месте заболоченная и покрыта травянистой тундрой.

Зимой 2008 г. был получен кERN из скважины D3 (67°29'04" с.ш., 171°56'40" в.д.), расположенной в западной части кратера, в 300 м от береговой линии. Длина керна составляет 141.5 м [29]. Скважина была пробурена в аллювиальном конусе выноса, состоящем из песчаных и гравийно-песчаных прослоев с достаточно низким содержанием глинистой фракции. К настоящему времени методом спорово-пыльцевого анализа изучено 56 метров керна, однако в данной работе представлены результаты изучения только верхних 20 метров ввиду крайне низкой концентрации микрофоссилий в остальной его части.

Для всех описанных выше кернов проведен спорово-пыльцевой анализ. Кроме того, для интерпретации результатов привлекались данные по гранулометрии и содержанию органического углерода (СОУ). Для кернов P1 и P2 такие данные были получены в ходе предыдущих исследований [35, 36], а для керна D3 публикуются впервые в этой статье. Результаты радиоуглеродного датирования изучаемых отложений представлены в табл. 1.

Обработка проб для спорово-пыльцевого анализа проводилась на основе стандартной методики [19] с применением плавиковой кислоты (HF) и добавлением таблеток со спорами плауна *Lycopodium clavatum* для подсчета концентрации пыльцы [37]. При определении микрофоссилий использованы специальные атласы и определители [2, 7, 8, 31, 32, 33 и др.]. Помимо пыльцы и спор растений также определяли и подсчитывали

вали палиноморфы, к которым относятся споры грибов, остатки водорослей, беспозвоночных животных и т.п. [39], которые также представлены на диаграммах.

Для осуществления статистической достоверности в каждой пробе, при наличии достаточного количества пыльцы, подсчитывали как минимум 250 пыльцевых зерен. Процентное соотношение отдельных пыльцевых таксонов высчитывали от общей суммы пыльцы. Процентное содержание спор – от суммы пыльцы и спор, содержание переотложенных микрофоссилий – от суммы пыльцы и переотложенных микрофоссилий и т.д. Для подсчета процентных соотношений и построения спорово-пыльцевых диаграмм использованы программы Tilia/TiliaGraph/TGView [22]. Редактирование диаграмм осуществляли с использованием программы CorelDraw.

Результаты исследований. P1. По результатам гранулометрического анализа нижняя часть керна (500–320 см) содержит значительное количество глинистой фракции (до 20%), в средней части (320–210 см) преобладает песчаная фракция, а в верхней части (210–0 см) – алевритовая (рис. 2). Данные отложения интерпретируются как результат пролювиальных, коллювиальных и солифлюкционных процессов. Повышенное содержание СОУ очень хорошо коррелирует с песчаными прослоями, однако наибольшего значения СОУ достигает в прослое торфа на глубине примерно 280 см. Отсутствие органического углерода в нижней части керна дает основание предполагать, что осадконакопление в этот период происходило в результате гравитационных склоновых процессов [36]. Микрофоссилии были встречены по всему керну, однако на интервале глубин 340–500 см наблюдается более низкая их концентрация, чем в остальной части керна, которая очень богата пыльцой и спорами, что вполне соответствует кривой СОУ (рис. 2, 3).

На основании полученных палинологических данных кERN был разделен на пять палинозон (ПЗ) (рис. 3). Радиоуглеродное датирование 11 образцов (табл. 1, рис. 2) дает возможность говорить о том, что изучаемые осадки накопились в течение последних 11200 лет [36].

ПЗ I (495–430 см) характеризуется преобладанием пыльцы травянистых растений (Cyperaceae, Poaceae), а также достаточно высоким содержанием пыльцы *Betula sect. Nanae* и *Salix*, причем вверх по разрезу количество пыльцы карликовой березки увеличивается, а ивы, наоборот, уменьшается.

Таблица. Результаты радиоуглеродного датирования образцов из кернов P1, P2 и D3. Возраст был калиброван с использованием CALIB 5.0 [34]. Очевидно инверсионные возраста показаны *курсивом* и отмечены *

Глубина (см), керн	Материал для датирования	¹⁴ C возраст (л.н.)	Калиброванный возрастной интервал (л.н.)	Лабораторный номер	Источник
20, P1	Растительные остатки	3000±30	3097–3268	KIA25979	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
43, P1	»	3095±45	3207–3399	KIA25980	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
114, P1	»	3670±30	3898–4089	KIA23976	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
150, P1	»	3665±35	3888–4090	KIA25981	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
207, P1	»	<i>8145±45*</i>	<i>9011–9148</i>	KIA28241	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
233, P1	»	5585±40	6295–6443	KIA23977	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
265, P1	»	8760±45	9600–9915	KIA23978	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
292, P1	»	8830±55	9692–10.155	KIA23979	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
314, P1	»	8885±40	9890–10.183	KIA24865	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
325, P1	»	8920±110	12 867–10.246	KIA28242	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
463, P1	»	11.160±70	12.283–13.423	KIA23980	Schwamborn <i>et al.</i> 2006
46, P2	Травянистые остатки	1675±25	1526–1626	KIA24866	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
52, P2	»	3365±35	3554–3693	KIA27258	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
95, P2	»	4400±110	4813–5321	KIA27259	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
119, P2	»	5350±45	5999–6219	KIA27260	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
132 P2	»	6345±35	7172–7331	KIA24867	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
205, P2	»	10,450±60	12.124–12.654	KIA24868	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
210, P2	»	11.180±147	12.867–13.303	KIA28243	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
226, P2	»	11.790±242	13.152–14.178	KIA28244	Schwamborn <i>et al.</i> 2008
0–40, D3	Растительные остатки	современный		Poz-33404	Данная статья
40–50, D3	»	современный		Poz-33406	Данная статья
50–60, D3	»	современный		Poz-33407	»
60–70, D3	»	современный		Poz-33408	»
70–100, D3	»	современный		Poz-33409	»
10–11, D3	»	современный		Poz-33410	»
173–183, D3	Рассеянное органическое вещество	<i>27.690±200*</i>		Poz-35975	»
208–230, D3	»	<i>20.860±170*</i>		Poz-35977	»
315–325, D3	»	<i>18.800±120*</i>		Poz-35978	»
395–400, D3	»	<i>24.070±320*</i>		Poz-35979	»
845–852, D3	»	<i>24.590±220*</i>		Poz-35980	»
899–910, D3	»	<i>28.440±320*</i>		Poz-35981	»

ПЗ II (430–380 см) отличается резким преобладанием пыльцы Сурегасеае над всеми остальными таксонами и практическим полным отсутствием пыльцы древесных пород.

ПЗ III (380–330 см) характеризуется увеличением содержания пыльцы *Betula sect. Nanae*, некоторым сокращением Сурегасеае и появлением небольшого количества *Alnus fruticosa*. Кроме того, в верхней части этой зоны концентрация пыльцы увеличивается.

ПЗ IV (330–265 см) выделяется по максимальному содержанию пыльцы *Alnus fruticosa* и уменьшению количества пыльцы трав.

ПЗ V (265–0 см) отличается высокой концентрацией пыльцы, большим содержанием пыльцевых зерен *Betula sect. Nanae* и *Alnus fruticosa*, разнообразием пыльцы трав, а также присутствием дальнезаносной пыльцы *Pinus* и *Picea*. Эта палинозона может быть разделена на две подзоны, верхняя из которых ПЗ Vb (50–0 см) характеризу-

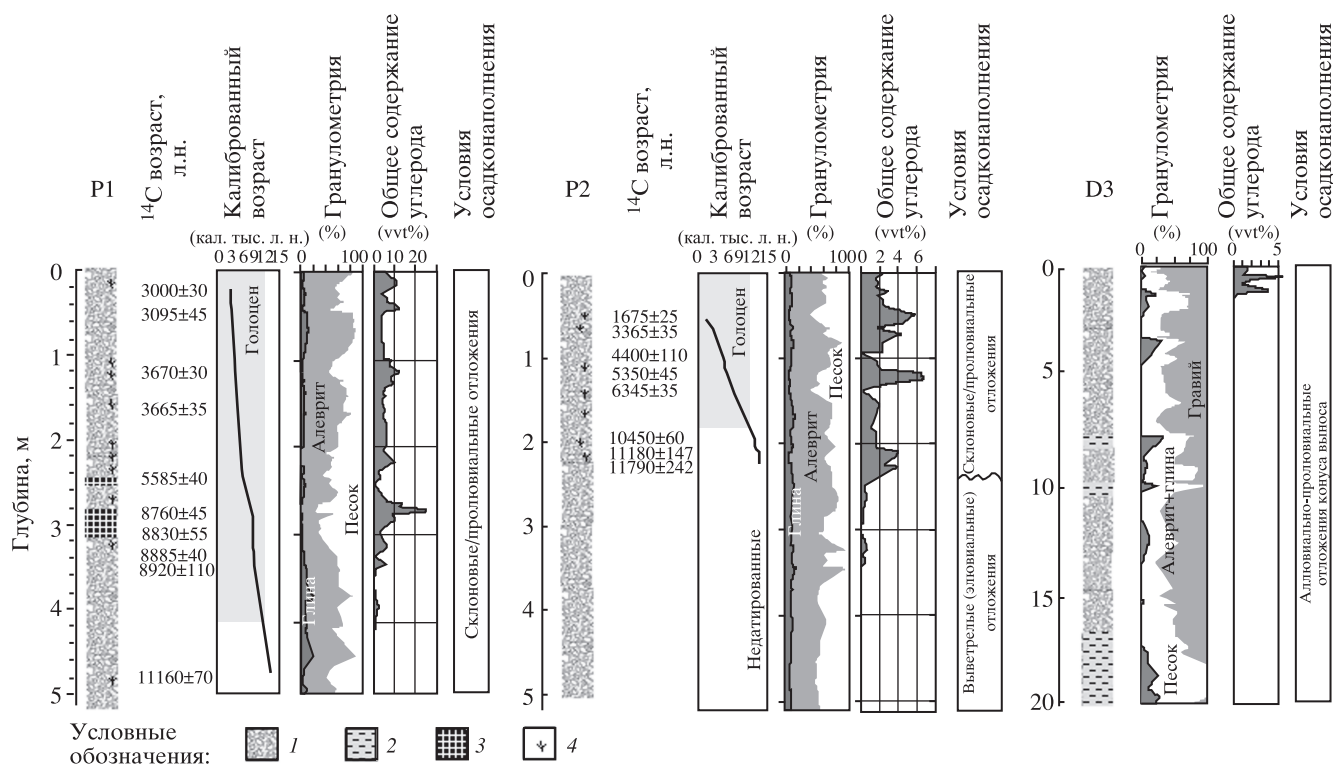


Рис. 2. Результаты проведения литологических, геохронологических, гранулометрических* и геохимических исследований для кернов P1, P2 и D3. 1 – диамиктон, 2 – песчаные прослои, 3 – торф, 4 – растительные остатки. * Не приведены галечная и гравийная составляющие для кернов P1 и P2 и галечная составляющая для керна D3.

ется наибольшим для всего спектра количеством пыльцы *Salix*.

P2. Отложения верхней части керна P2 во многом похожи на отложения керна P1, состоят из песчано-алевритовой и глинистой фракции (до 10–20%) и являются, по-видимому, пролювиальными и склоновыми отложениями [35]. Однако осадки нижней части (250–510 см) сильно различаются как по внешнему виду, так и по химическому составу и интерпретируются как выветрелые вулканические породы. Граница между этими литологическими разностями хорошо прослеживается и по резкому увеличению СОУ с глубины 250 см (рис. 2). Концентрация микрофоссилий в спектре также очень хорошо коррелирует с кривой СОУ (рис. 2, 4).

Радиоуглеродный анализ восьми образцов дал вполне адекватное распределение возрастов по глубинам (рис. 2). Три датировки, полученные с глубины 205–226 см, показали возраст 10500–12000 лет (таблица) [36], что позволяет нам сопоставлять kern P1 и верхнюю часть керна P2 как близкие по возрасту.

По результатам проведенного спорово-пыльцевого анализа kern P2 может быть разделен на

шесть ПЗ (рис. 4). ПЗ I объединяет в себя интервал глубин 350–510 см, на котором отмечается присутствие лишь единичных пыльцевых зерен *Pinaceae*, *Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa* и *Cyperaceae*. И только в самом нижнем образце из этой зоны концентрация пыльцы несколько увеличивается за счет увеличения количества пыльцевых зерен древесных пород и большего разнообразия трав. ПЗ II (350–330 см) характеризуется некоторым увеличением концентрации микрофоссилий и значительным присутствием в спектре спор *Lycopodium* и *Botrychium*. Однако, ввиду слишком малой концентрации микрофоссилий в ПЗ I и II, а также аномального содержания спор эти зоны не учитывались при интерпретации.

ПЗ III (330–265 см) характеризуется постоянным присутствием пыльцы в спектре, причем соотношение кустарников (*Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*) и трав (*Cyperaceae*, *Poaceae*) примерно одинаковое. Также стоит отметить значительное присутствие дальнезаносной пыльцы *Pinus s/g Haploxylon* и *Pinaceae*.

ПЗ IV (265–180 см) выделяется по резкому преобладанию пыльцы травянистых растений,

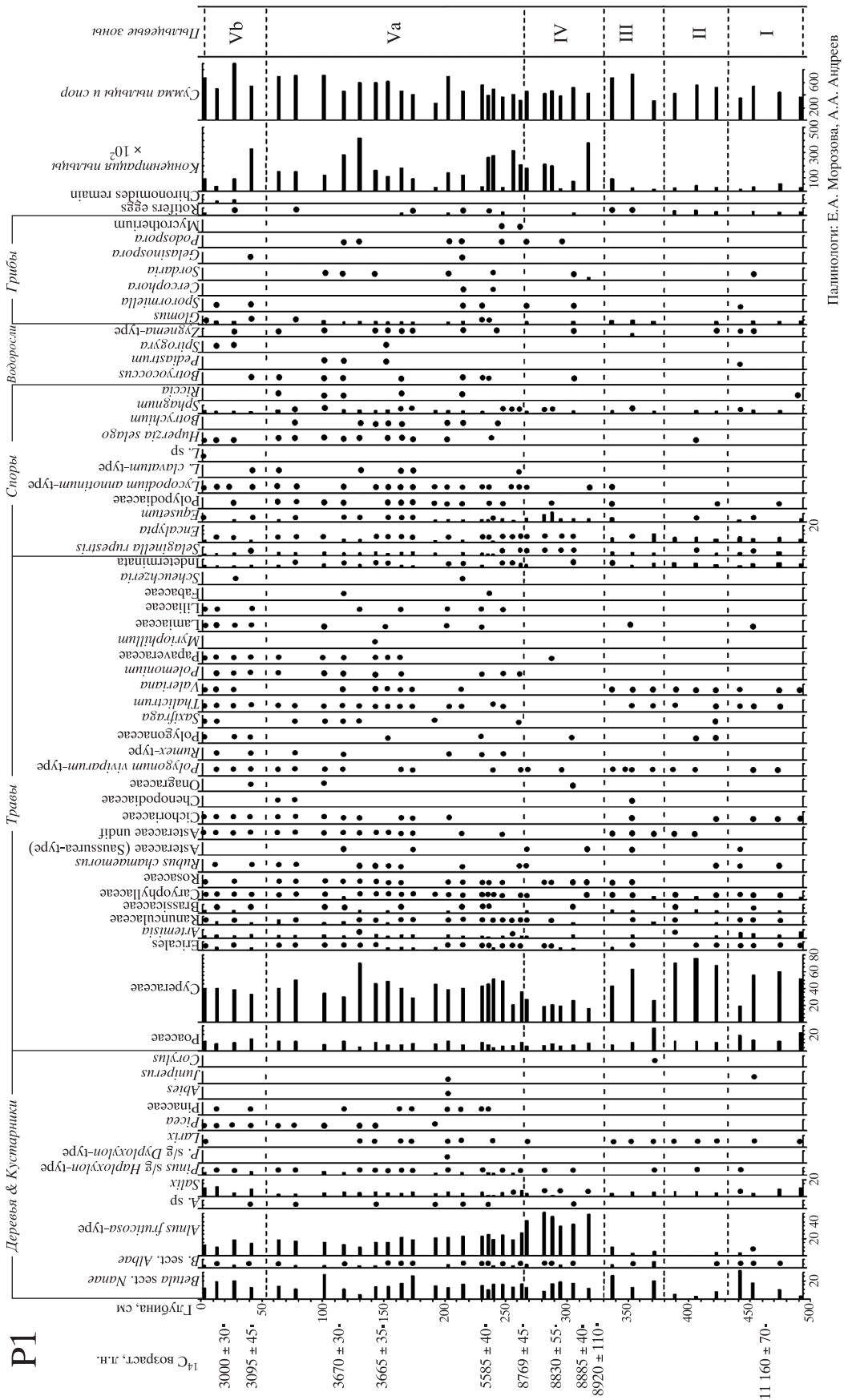


Рис. 3. Спорно-пыльцевая диаграмма осадков керна Р1.

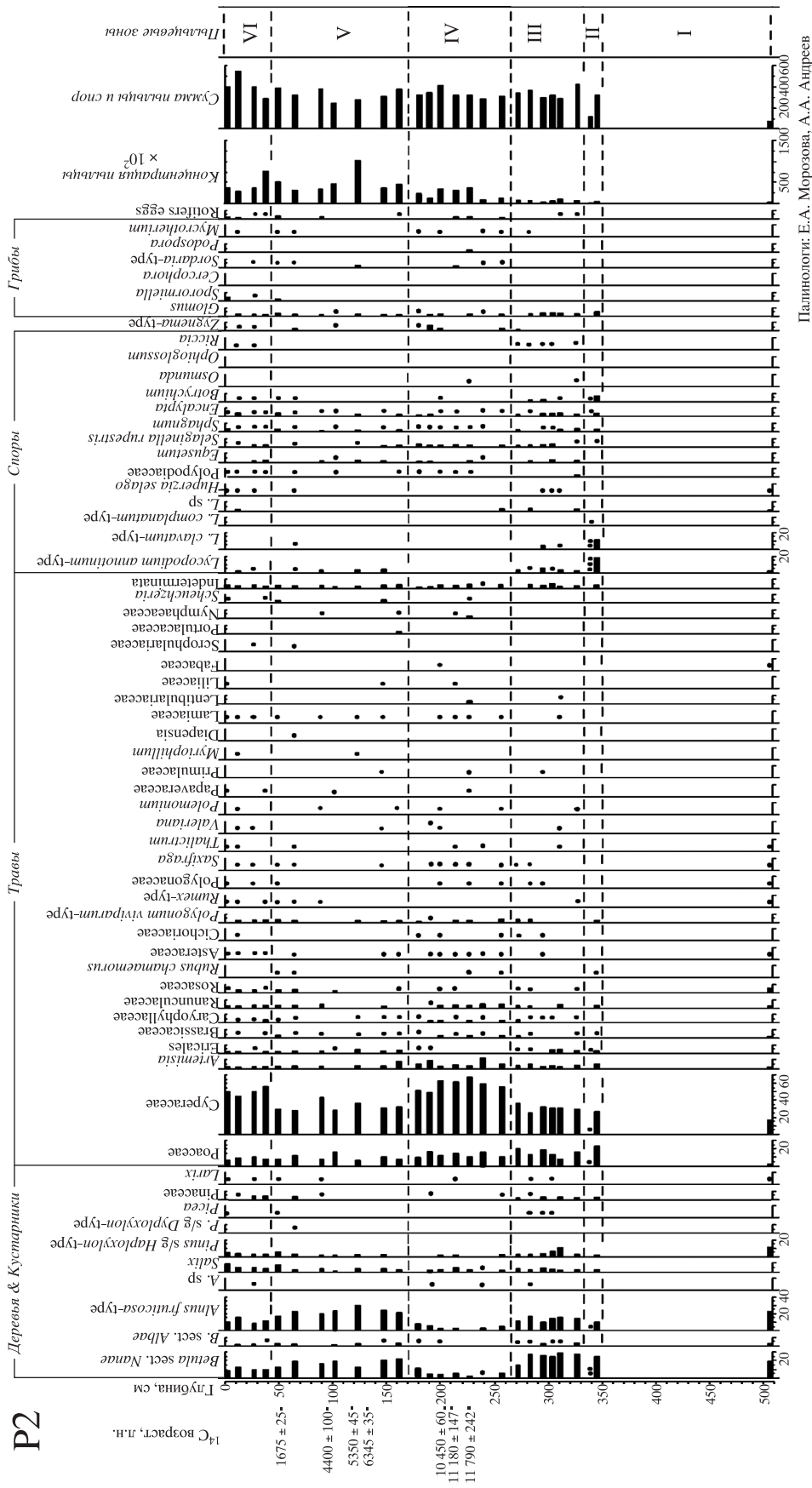


Рис. 4. Спорно-пыльцевая диаграмма осадков керн P2.

особенно Cyperaceae, и по сокращению пыльцы *Betula sect. Nanae* и *Alnus fruticosa*.

ПЗ V (170–40 см) характеризуется уравниванием соотношения пыльцы трав и кустарников, доминантами среди которых являются *Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*, *Salix*, Cyperaceae и Poaceae. В этой же зоне отмечается максимум содержания *Alnus fruticosa*.

Самая верхняя ПЗ VI (40–0 см) отличается от предыдущей уменьшением содержания пыльцы *Betula sect. Nanae* и *Alnus fruticosa* и увеличением Cyperaceae, *Pinus s/g Haploxyton* и *Salix*.

D3. По результатам гранулометрического анализа керн состоит из песчано-гравийных и гравийно-песчаных отложений с незначительным участием алевритовой фракции (рис. 2). На глубинах 7.5, 10 и 17–20 м отмечаются слоистость и преобладание песчаного материала, что может свидетельствовать об относительно спокойном субаквальном накоплении осадков на этих глубинах и об уменьшении интенсивности привноса обломочного материала в озерную чашу.

Содержание органического углерода в керне крайне мало, за исключением верхних двух метров (рис. 2), что вызвало трудности при датировании отложений. Радиоуглеродные датировки не дали надежной возрастной привязки (табл. 1). Образцы, отобранные из верхних 110 см керна показали современный возраст, что связано с проникновением корней современных растений, а остальные датировки дали много инверсий, что связывается нами с присутствием переотложенного органического материала в осадках. Но, несмотря на это, мы можем делать некоторые предположения о возрасте изучаемых осадков, основываясь на сопоставлении полученных спорово-пыльцевых спектров с ранее опубликованными диаграммами по кернам донных озерных отложений PG1351 и LZ1024 [11, 27], а также с кернами P1 и P2, имеющих вполне надежные радиоуглеродные датировки.

По содержанию пыльцы керн D3 отличается большой неоднородностью, однако он был разделен на семь ПЗ (рис. 5). ПЗ I (1980–1930 см) характеризуется доминированием пыльцы Poaceae, а также *Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*, *Salix*, Cyperaceae, Ericales, Caryophyllaceae. Отмечается также присутствие пыльцы *Larix* и достаточное высокое содержание спор *Sphagnum* и *Lycopodium*. Однако концентрация микрофоссилий все же довольно низка.

На интервале глубин 1400–1930 см пыльцевых зерен или спор встречено не было. В ПЗ II (1400–900 см) отмечена очень низкая концентрация микрофоссилий. Было найдено лишь несколько пыльцевых зерен *Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*, *Salix*, Cyperaceae, Poaceae и отдельные споры *Sphagnum* и *Lycopodium*. Ввиду отсутствия пыльцы или ее крайне низкой концентрации интервал глубин 1930–900 см не рассматривался при интерпретации.

ПЗ III (900–330 см) выделяется по резкому увеличению содержания пыльцы и спор. Доминантами являются *Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*, *Salix*, Cyperaceae, Poaceae, Ericales и споры *Sphagnum*.

В ПЗ IV (330–250 см) при сохранении прежних доминант резко уменьшается количество спор *Sphagnum* и несколько увеличивается роль травянистых растений.

ПЗ V (250–180 см) выделяется практически полным отсутствием пыльцы древесных и кустарниковых пород и преобладанием пыльцы Cyperaceae и Poaceae, а также отмечается самая высокая концентрация микрофоссилий.

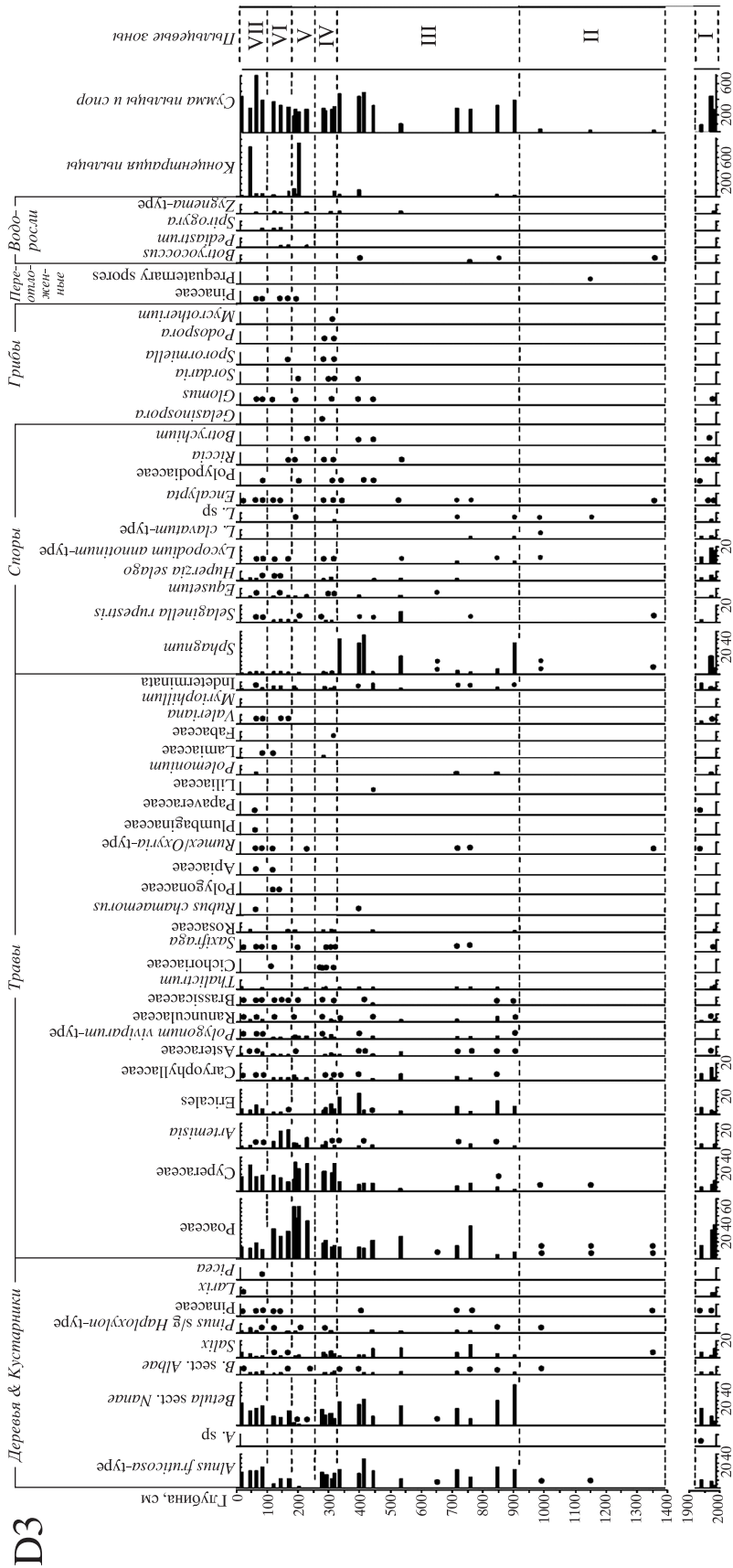
ПЗ VI (180–100 см) характеризуется увеличением содержания *Betula sect. Nanae* и *Alnus fruticosa*, а также значительным присутствием в спектре *Artemisia*. Концентрация пыльцы в этой зоне резко падает.

В ПЗ VII (100–0 см) доминантами являются *Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*, Cyperaceae, Poaceae и Ericales. Отмечается резкое увеличение концентрации микрофоссилий, а также присутствие дальнезаносной пыльцы *Pinus* и *Picea*.

Обсуждение результатов и палеоклиматические реконструкции

Поздний плейстоцен

Нижняя часть керна D3 (рис. 5) – наиболее древняя. По доминантным таксонам (*Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*, Cyperaceae, Poaceae) ПЗ-I может быть сопоставлена с зонами Eg6 и E11 озерных кернов PG1351 и LZ1024 соответственно [11, 27]. Таким образом, мы можем предположить, что это межледниковые спектры казанцевского времени (рис. 6), хотя не исключены и привязки к другим, более ранним межледниковьям. Повышенная песчаность и слоистость отложений может указывать на то, что осадконакопление происходило в относительно спокойных субаквальных условиях. Подтверждением этого служат и данные о колебании уровня озера [12], свидетельствующие о его повышении как



Палинолог: А.А. Андреев, Е.А. Морозова

Рис. 5. Спорово-пыльцевая диаграмма осадков керна D3.

минимум на 10 м во время последнего межледникового и следующего за ним зырянского времени.

Однако следует отметить, что в межледниковых спектрах керна D3 значительное участие принимают также *Salix*, *Larix*, *Ericales*, *Caryophyllaceae*, а также *Sphagnum* и *Lycopodium*, которые практически отсутствуют в зонах Eg6 и E11 кернов PG1351 и LZ1024 соответственно. По-видимому, это объясняется особенностями выпадения пыльцы в центре озера и на окружающую озеро территорию. Согласно пыльцевым спектрам, в окрестностях оз. Эльгыгытгын в межледниковье произрастали карликовая березка, ива, возможно, ольховник и даже лиственница, что говорит о перемещении северной границы леса на сотни километров к северу и хорошо согласуется с данными по озерным колонкам [11, 27]. Среди окружающей озеро растительности значительная роль также принадлежала разнотравно-осоково-злаковым ассоциациям с участием сфагновых мхов и плаунок.

Как указано выше, по части керна D3 с крайне низким содержанием или отсутствием микрофоссилий мы не можем проводить какие-либо реконструкции, но в то же время этот факт может указывать на существование крайне суровых климатических условий, приведших к угнетению растительности. Об этом свидетельствуют и похожие спорово-пыльцевые спектры, полученные при изучении террасовых отложений, относящихся к холодным эпохам [4]. Опираясь на стратиграфическую позицию этих отложений, можно предположить, что они относятся к зырянскому надгоризонту. Однако ввиду отсутствия точной временной привязки мы можем утверждать лишь позднеледниковое время их формирования (рис. 6).

Позднеледниковье. Позднеледниковье достаточно хорошо прослеживается во всех изучаемых кернах. Основываясь на радиоуглеродных датировках 11160 ± 70 и 11790 ± 242 л.н. для кернов P1 и P2 соответственно (табл. 1), а также на корреляции со спектрами озерных отложений (зона E4 в керне LZ1024, [11]), можно предположить, что формирование спектров ПЗ-I керна P1 (рис. 3), ПЗ-III керна P2 (рис. 4) и ПЗ-III и ПЗ-IV керна D3 (рис. 5) происходило в аллерёде.

Во всех указанных выше палинозонах отмечается преобладание *Suraceae*, *Roaceae* и *Betula sect. Nanae*, а также *Salix*, *Ericales*, *Artemisia* и спор *Sphagnum*. Отнесение данных спектров к аллерёду подтверждается значительным участием пыльцы кустарников, а также наличием дальнеаносной пыльцы *Pinus s/g Haploxylo* в ПЗ-III

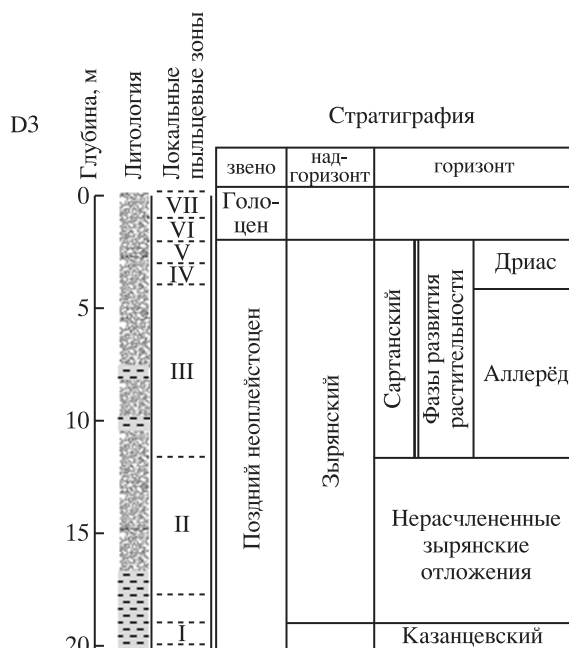


Рис. 6. Возрастная модель верхней части керна D3, основанная на данных литолого-фациального и палинологического анализов. Условные обозначения см. на рис. 2.

керна P2. В это время в растительности, окружающей озеро, по-видимому, присутствовали карликовая березка, ивы, а также разнотравно-злаково-осоковые ассоциации. Учитывая значительное участие (до 35%) в спектрах ПЗ-III (керна P2 и D3) пыльцы *Alnus fruticosa*, можно предположить, что ольховник также рос в окрестностях озерной котловины или по долинкам ручьев. А небольшой его процент в ПЗ-I керна P1 может свидетельствовать о деградации растительного покрова и ухудшении климата при приближении к позднему дриасу, что подтверждается и радиоуглеродной датировкой (рис. 3).

Стоит также отметить, что доминирующие пыльцевые таксоны несколько отличаются в разных кернах. Так, например, в ПЗ-III керна D3 *Sphagnum*, *Salix* и *Ericales* играют большую роль, чем в кернах P1 и P2, что скорее всего связано с локальными условиями. О распространении заболоченных местообитаний в окрестностях озера свидетельствуют и пыльцевые данные по озерному керну PG 1351, в котором отмечается большое количество спор сфагнума в позднеледниковье [27].

Нельзя не отметить и большую мощность отложений, относимых нами к аллерёду в керне D3 (около 6.5 м), а также достаточно низкую концентрацию пыльцы и даже почти полное ее

отсутствие в некоторых слоях. Оба эти факта могут объясняться особенностями осадконакопления. Потепление и увлажнение климата в аллереде могло привести к увеличению количества терригенного материала, переносимого водными потоками. Отложение этого материала в конусе выноса способствовало быстрому накоплению мощных толщ аллювиально-пролювиальных отложений. А достаточно небольшая мощность подстилающих нерасчлененных позднелепесточеновых отложений, наоборот, может быть связана с их размывом.

Пыльцевые спектры ПЗ-II керн P1 (рис. 3), ПЗ-IV керн P2 (рис. 4) и ПЗ-V керн D3 (рис. 5) отличаются удивительным однообразием и преобладанием пыльцы Сурегасеae и Роасеae и практически полным отсутствием пыльцы древесных и кустарниковых пород, что свидетельствует о резком ухудшении климатических условий и распространении разнотравно-злаково-осоковой тундры вокруг озера. Радиоуглеродная датировка 10450 ± 60 л.н. из ПЗ-IV керн P2 (рис. 4, табл. 1) подтверждает предположение о формировании данных спектров в позднем дриасе. Подобная ситуация со значительным увеличением пыльцы Роасеae и спор *Selaginella rupestris* отмечается в озерных отложениях (зона E3 керн LZ1024, [11]) и интерпретируется тоже как реакция растительности на похолодание в позднем дриасе [4].

Голоцен. Ранний голоцен хорошо прослеживается в керне P1 по ПЗ-III (рис. 3), где отмечается преобладание пыльцы *Betula sect. Nanae*, Сурегасеae и Роасеae, и незначительное участие *Alnus fruticosa* и *Salix*. Содержание пыльцы *Betula sect. Nanae* (до 25%) и *Alnus fruticosa* (до 10%) свидетельствует об улучшении климатических условий и дает основание говорить о присутствии карликовой березки и ивы в растительности и о заносе пыльцы *Alnus fruticosa* с юга. Радиоуглеродные датировки (табл. 1) подтверждают, что данные осадки накопились до 9000 л.н., то есть в начале голоцена. Похожие пыльцевые комплексы, относящиеся к данному временному интервалу, отмечались и при изучении разрезов ОС и GS-12/1 (рис. 1) [4, 15].

В ПЗ-VI керн D3 (рис. 5) тоже начинает появляться пыльца *Alnus fruticosa* и *Betula sect. Nanae*, а среди травянистой растительности ведущая роль принадлежит Сурегасеae, Роасеae и *Artemisia*. Это также может свидетельствовать о потеплении климата в начале голоцена и о приближении северной границы распространения кустарниковых тундр ближе к озеру. Спорово-пыльцевые спектры раннеголоценовых отложений соседних

регионов [17, 18, 23, 24, 26 и др.] показывают похожую картину изменений окружающей среды.

Резкое увеличение пыльцы кустарниковых и древесных пород (*Betula sect. Nanae*, *Alnus fruticosa*, *Betula sect. Albae*, *Pinus s/g Haploxylon*) отмечается в ПЗ-IV, Va (керн P1, рис. 3), ПЗ-V (керн P2, рис. 4) и ПЗ-VII (керн D3, рис. 5), что свидетельствует о дальнейшем потеплении климата. На диаграмме керн P1 довольно хорошо выражен климатический оптимум голоцена (ПЗ-IV), который характеризуется доминированием пыльцы ольховника. Судя по радиоуглеродным датировкам этого керн, *Alnus fruticosa* обосновалась в бассейне озера около 9000 л.н. или чуть ранее и произрастала там в течение нескольких тысяч лет. С этими данными хорошо согласуются радиоуглеродные датировки древесины ольховника: 9250 ± 90 и 9125 ± 30 л.н., полученные в разрезе ОС [15, 21]. Следует также отметить находки иголок *Larix gmelinii* в тех же слоях разреза ОС. Радиоуглеродный возраст ее древесины из торфяного прослоя составляет 8120 ± 25 л.н. [15]. Все это – доказательство произрастания лиственницы в 1 км от берега озера, а следовательно, и о смещении границы ее распространения приблизительно на 400 км к северу от современной, что, по-видимому, являлось следствием повышения среднеиюльской температуры как минимум на $4-5^\circ\text{C}$ по сравнению с нынешней [там же]. Такие выводы находят подтверждение и в результатах спорово-пыльцевого и ботанического анализа голоценовых отложений соседних регионов [18, 20, 28 и др.], свидетельствующих о присутствии кустарников и деревьев намного севернее их современных ареалов.

Значительное участие в спектрах пыльцы ольховника наблюдается примерно до 3000 л.н. (ПЗ-Va в керне P1 и ПЗ-V в керне P2), после чего отмечается снижение ее роли и появление в спектрах большего количества пыльцы *Salix*, *Pinus*, *Betula*, *Ericales* и Сурегасеae (ПЗ-Vb и ПЗ-VI в керн P1 и P2 соответственно). По-видимому, с этого момента в районе озера Эльгыгытгын устанавливаются климатические условия, близкие к современным, способствовавшие распространению травянистых тундр в окрестностях озера с участием лишь карликовой березки и ив. Пыльца *Pinus s/g Haploxylon* (скорее всего *Pinus pumila*) является дальнезаносной, что особенно заметно в озерных керн [11, 27].

По поводу ПЗ-VII керн D3 нельзя сказать ничего определенного, не имея надежных датировок. Эта палинозона охватывает верхний метр отложений, которые подвержены современным склоно-

вым процессам. Спорово-пыльцевой спектр этой зоны свидетельствует о достаточно теплых климатических условиях, но пока что у нас нет оснований относить эту зону к какому-то определенному периоду голоцена. Возможно, ПЗ-VI и VII керны D3 отражают общую тенденцию к потеплению климата в течение голоцена. Этот вопрос остается дискуссионным.

Выводы. Результаты исследования трех кернов многолетнемерзлых пород, расположенных в кратере озера Эльгыгытгын, позволили провести палеогеографические реконструкции, охватывающие главным образом позднеледниковье и голоцен. Результаты спорово-пыльцевого анализа подкреплялись данными других видов анализов. Сопоставление наших выводов с результатами предыдущих исследований позволило лучше понять роль местной и региональной растительности в формировании фоссильных спектров, а также получить более детальные реконструкции развития окружающей среды.

Корреляция спорово-пыльцевых спектров всех изученных кернов из кратера озера позволила получить возрастную модель для верхней части керна D3 (рис. 6), которая на данном этапе исследования является единственной.

Время формирования керна D3 на глубине 1930–1980 см, по данным спорово-пыльцевого анализа, можно отнести к казанцевскому межледниковью или МИС7. Однако, как уже упоминалось, этот факт не является неоспоримым ввиду отсутствия надежных датировок абсолютного возраста. Тем не менее спорово-пыльцевой спектр свидетельствует о том, что в окрестностях оз. Эльгыгытгын в это время произрастали карликовая березка, ива, возможно, ольховник и даже лиственница, а это, в свою очередь, говорит о перемещении северной границы леса на сотни километров к северу. Разнотравно-осоково-злаковые ассоциации с участием сфагновых мхов и плаунков также играли ведущую роль в окружающей озеро растительности.

Позднеледниковые спорово-пыльцевые комплексы, относящиеся к аллерёдскому потеплению, указывают на распространение разнотравно-злаково-осоковой тундры с участием карликовой березки, ивы и ольховника в это время.

Поздний дриас характеризуется резкими изменениями в растительности, связанными с исчезновением кустарников в окрестностях озера, что, по-видимому, связано с ухудшением климатических условий.

В начале голоцена отмечается улучшение климата, которое вновь привело к появлению в растительности карликовой березки и ивы. Значительное присутствие ольховника в озерной котловине отмечается в период 9000–3000 л.н. После чего в районе озера Эльгыгытгын установились климатические условия близкие к современным, способствовавшие распространению травянистых тундр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беликович А.В.* Постоянные пробные площади района оз. Эльгыгытгын. Магадан: ИБПС ДВО РАН, 1988. 57 с.
2. *Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф.* Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. М.: Наука, 1983. 206 с.
3. *Глушкова О.Ю.* Геоморфология и история развития рельефа района озера Эльгыгытгын // Природа впадины озера Эльгыгытгын. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1993. С. 26–48.
4. *Глушкова О.Ю., Смирнов В.Н., Матросова Т.В., Вадженина Л.Н., Браун Т.* Климатостратиграфическая характеристика и радиоуглеродные датировки террасового комплекса в бассейне оз. Эльгыгытгын // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2009. № 2. С. 31–43.
5. *Гуров Е.П., Гурова Е.П.* Геологическое строение и ударный метаморфизм вулканогенных пород метеоритного кратера Эльгыгытгын. Препринт 81-4. Киев: ИГН АН УССР, 1981. 61 с.
6. *Кожевников Ю.П.* Сосудистые растения окрестностей озера Эльгыгытгын // Природа впадины озера Эльгыгытгын. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1993. С. 62–82.
7. *Куприянова Л.А., Алешина Л.А.* Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР. Lamiales-Zygophyllaceae. Л.: Наука, 1978. 183 с.
8. *Куприянова Л.А., Алешина Л.А.* Пыльца и споры растений флоры СССР. Т. 1. Л.: Наука, 1972. 171 с.
9. *Матросова Т.В.* Современные спорово-пыльцевые спектры Анадырского плоскогорья (оз. Эльгыгытгын) // Геология, география и биологическое разнообразие Северо-Востока России: Материалы Дальневост. регион. конф., посвящ. памяти А.П. Васильковского и в честь его 95-летия (Магадан, 28–30 нояб. 2006 г.) /Отв. ред. И.А. Черешнев. Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2006. С. 159–162.
10. *Матросова Т.В., Андерсон П.М., Ложкин А.В., Минюк П.С.* Климатическая история Чукотки за последние 300 тыс. лет по данным пыльцевой летописи оз. Эльгыгытгын // Климатические лето-

- писи в четвертичных осадках Берингии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2004. С. 26 – 41.
11. *Матросова Т.В.* Изменение растительности и климата северной Чукотки за последние 350 тыс. лет (по палинологическим данным осадков оз. Эльгыгытгын) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2009. № 2. С. 23–30.
 12. *Федоров Г.Б., Швамборн Г., Большианов Д.Ю.* Колебания уровня озера Эльгыгытгын в позднечетвертичное время // Вестн. СПбГУ. 2008. Сер. 7 (геол., геогр.). Вып. 1. С. 73–78.
 13. Чукотка. Природно-экономический очерк. Москва-Анадырь, 1995. 374 с.
 14. *Шило Н.А., Ложкин А.В., Андерсон П.М.* и др. Первая непрерывная пыльцевая летопись изменений климата и растительности Берингии за последние 300 тыс. лет // Докл. РАН. Геология. 2001. Т. 376. № 2. С. 231–234.
 15. *Шило Н.А., Ложкин А.В., Андерсон П.М., Важенина Л.Н., Глушкова О.Ю., Матросова Т.В.* Первые данные об экспансии *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. в арктические районы Берингии в раннем голоцене // Докл. РАН. 2008. Т. 422. № 5. С. 1–3.
 16. *Юрцев Б.А.* Ботанико-географическая зональность и флористическое районирование Чукотской тундры // Ботан. журн. 1973. Т. 58. № 7. С. 945–964.
 17. *Anderson P.M., Lozhkin A.V.* Palynological and radiocarbon data from Quaternary deposits of northeastern Siberia /Eds. Anderson, P.M., Lozhkin, A.V. Quaternary vegetation and climate of Siberia and Russian Far East: a palynological and radiocarbon database. NOAA Paleoclimatology and North-East Science Center, Magadan, 2002. P. 27–34. (на рус. и англ.).
 18. *Andreev A.A., Grosse G., Schirrmeyer L. et al.* Weichselian and Holocene palaeoenvironmental history of the Bol'shoy Lyakhovsky Island, New Siberian Archipelago, Arctic Siberia // *Boreas* 38, 2009. P. 72–110.
 19. *Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M.* Pollen analysis and pollen diagrams. In Berglund, B.E. (ed.): Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology. Wiley, Chichester, 1986. P. 455–484.
 20. *Binney H.A., Willis K.J., Edwards M.E.* et al. The distribution of late-Quaternary woody taxa in Eurasia: evidence from a new macrofossil database // *Quaternary Sci. Rev.* № 28. 2009. P. 2445–2464.
 21. *Glushkova O.Y., Smirnov V.N.* Pliocene to Holocene geomorphic evolution and paleogeography of the Elgygytgyn Lake region, NE Russia // *J. Paleolimnol.* 2007. № 37. P. 37–47.
 22. *Grimm E.* Tilia Software. Illinois State Museum. Research and Collection Center. Springfield, IL, 1991.
 23. *Kokorowski H.D., Anderson P.M., Mak C.J., Lozhkin A.V.* A Re-evaluation and spatial analysis of evidence for a Younger Dryas Climatic reversal in Beringia // *Quaternary Science Reviews.* 2008a. V. 27. № 17–18. P. 1710–1722.
 24. *Kokorowski H.D., Anderson P.M., Sletten R.S., Lozhkin A.V., Brown T.A.* Late Glacial and Early Holocene Climatic changes Based on a Multiproxy Lacustrine Sediment Record from Northeast Siberia // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research.* 2008b. V. 40. № 3. P. 497–505.
 25. *Layer P.* Argon-40/argon-39 age of the El'gygytgyn impact event, Chukotka, Russia // *Meteor. Planet. Sci.* 35. 2000. P. 591–599.
 26. *Lozhkin A.V., Anderson P.M.* A reconstruction of the climate and vegetation of northeastern Siberia based on lake sediments // *J. Paleontological.* 2006. № 40. P. 622–628.
 27. *Lozhkin A.V., Anderson P.M., Matrosova T.V., Minyuk P.S.* The pollen record from El'gygytgyn Lake: implications for vegetation and climate histories of northern Chukotka since the late middle Pleistocene // *J. Paleolimnology.* 2007. № 37. P. 135–153.
 28. *MacDonald G.M., Velichko A.A., Kremenetski C.V. et al.* Holocene treeline history and climate change across Northern Eurasia // *Quaternary Research.* 2000. № 53. P. 302–311.
 29. *Melles M., Brigham-Grette J., Minyuk P. et al.* The Lake El'gygytgyn Scientific Drilling Project - Conquering Arctic Challenges in Continental Drilling. Scientific Drilling. 2011. № 11. P. 29–40.
 30. *Nolan M., Brigham-Grette J.* Basic hydrology, limnology, and meteorology of modern Lake El'gygytgyn, Siberia // *J. Paleolimnology.* 2007. № 37. P. 17–35.
 31. *Reille M.* Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie. Marseille, 1992.
 32. *Reille M.* Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord, supplement 1. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie. Marseille, 1995.
 33. *Reille M.* Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du nord, supplement 2. Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie. Marseille, 1998.
 34. *Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E. et al.* IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0–26 cal kyr BP // *Radiocarbon* 2004. № 46. P. 1029–1059.
 35. *Schwamborn G., Fedorov G., Schirrmeyer L., Meyer H., Hubberten H.-W.* Periglacial sediment variations controlled by late Quaternary climate and lake level change at Elgygytgyn Crater, Arctic Siberia // *Boreas.* 2008. № 37. P. 55–65.
 36. *Schwamborn G., Meyer H., Fedorov G., Schirrmeyer L., Hubberten H.-W.* Ground ice and slope sediments archiving Late Quaternary paleoenvironment and paleoclimate signals at the margins of Elgygytgyn Impact Crater, NE Siberia // *Quaternary Research.* 2006. № 66. P. 259–272.
 37. *Stockmarr J.* Tablets with spores used in absolute pollen analysis // *Pollen et Spores.* 1971. № 13. P. 614–621.

38. The Expedition El'gygytyn Lake 2003 (Siberian Arctic) /Eds. M. Melles, P. Minyuk, J. Brigham-Grette, O. Juschus. – Ber. Polarforsch. Meeresforsch. V. 509, AWI, Bremerhaven, 2005. 146 p.
39. *Van Geel B.* Non-pollen palynomorphs // Eds Smol J.P., Birks H.J.B., Last W.M., Bradley R.S. & Alverson K. Tracking environmental change using lake sediments. V. 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators. Kluwer, Dordrecht, 2001. P. 99–119.

Late Pleistocene and Holocene Vegetation History as Inferred From Palynological Investigations of the El'gygytyn Lake Crater Permafrost Deposits

**E.A. Morozova¹, A.A. Andreev², G.B. Fedorov¹, G. Schwamborn³,
L. Schirrmeister³, N.B. Ostanin⁴**

¹ *Arctic and Antarctic Research Institute, Bering Street 38, St. Petersburg, 199397 Russia*

² *Institute of Geology and Mineralogy, University of Cologne, Cologne, Germany*

³ *Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Potsdam, Germany*

⁴ *Sankt-Peterburg State University, St. Peterburg, Russia*

The results of the investigation of three permafrost cores from 3.6 Myr old Lake Elgygytyn impact crater are presented here. Paleobotanical reconstructions are based on palynological studies and involve mostly late glacial time and Holocene. Our results are more detailed in comparison to the data based on lake sediments studies due to very low sedimentation rate in Lake Elgygytyn. The age models rely on radiocarbon dates and also on correlations between our results with previously published data.