

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт геохимии им. А. П. Виноградова
Сибирского отделения российской академии наук

На правах рукописи

Волчатова Екатерина Валерьевна

**ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ОКИНСКОГО ПЛАТО
ВОСТОЧНОГО САЯНА В ГОЛОЦЕНЕ**

1.6.14 – Геоморфология и палеогеография

Диссертация

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель
доктор географических наук
Безрукова Елена Вячеславовна

Иркутск 2026 г.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----------|
| СОДЕРЖАНИЕ | 2 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ВОСТОЧНО-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ В ФИНАЛЕ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА И В ГОЛОЦЕНЕ..... | 12 |
| ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | 25 |
| 2.1. Природные условия Восточно-Саянской горной страны..... | 25 |
| 2.1.1. Рельеф..... | 25 |
| 2.1.2. Климат | 27 |
| 2.1.3. Гидрографическая сеть..... | 27 |
| 2.1.4. Почвенный покров | 28 |
| 2.1.5. Растительный покров..... | 29 |
| 2.2. Современные природные условия Окинского плато..... | 31 |
| 2.2.1. Озеро Саган-Нур | 33 |
| 2.2.2. Озеро Ильчир..... | 34 |
| 2.2.3. Озеро Шас-Нур..... | 36 |
| 2.2.4. Озеро Номто-Нур | 37 |
| 2.2.5. Долина реки Сенца..... | 38 |
| ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ | 41 |
| 3.1. Бурение отложений и опробование кернов..... | 41 |
| 3.2. Отбор поверхностных проб | 42 |
| 3.3. Радиоуглеродный метод..... | 42 |
| 3.4. Палинологический метод..... | 46 |
| 3.5. Метод биомизации..... | 48 |
| 3.6. Определение физических свойств отложений..... | 50 |
| 3.7. Статистические и графические методы | 52 |
| ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР И ТОРФЯНИКА ОКИНСКОГО ПЛАТО | 53 |
| 4.1. Возраст изученных отложений | 53 |

| | |
|--|------------|
| 4.2. Особенности состава субрецентных спорово-пыльцевых спектров изученных объектов..... | 55 |
| 4.2.1. Озеро Саган-Нур | 55 |
| 4.2.2. Озеро Ильчир..... | 58 |
| 4.2.3. Озеро Шас-Нур..... | 60 |
| 4.2.4. Озеро Номто-Нур | 62 |
| 4.2.5. Долина реки Сенца..... | 63 |
| 4.3. Литологическое строение вскрытых донных отложений озер и торфяника долины реки | 66 |
| 4.4. Результаты спорово-пыльцевого анализа донных и торфяных отложений голоцена..... | 71 |
| 4.4.1. Озеро Саган-Нур | 71 |
| 4.4.2. Озеро Ильчир..... | 76 |
| 4.4.3. Озеро Шас-Нур..... | 79 |
| 4.4.4. Озеро Номто-Нур | 84 |
| 4.4.5. Долина реки Сенца..... | 89 |
| ГЛАВА 5. РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА ОКИНСКОГО ПЛАТО В СРЕДНЕМ И ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ | 96 |
| 5.1. Озеро Саган-Нур | 96 |
| 5.2. Озеро Ильчир..... | 100 |
| 5.3. Озеро Шас-Нур..... | 104 |
| 5.4. Озеро Номто-Нур | 107 |
| 5.5. Долина реки Сенца | 113 |
| 5.6. Реконструкция биомов Окинского плато в голоцене по данным спорово-пыльцевого анализа | 117 |
| 5.7. Реконструкция растительного покрова Окинского плато..... | 123 |
| 5.8. Сравнение реконструированной истории растительности и климатических изменений Окинского плато и соседних регионов | 125 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 133 |
| СПИСОК ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ | 135 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | 136 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования.

По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (Stocker et al., 2013), с конца XIX века средняя глобальная температура воздуха выросла почти на 1°C. Согласно реконструированным палеоэкологическим сценариям (Величко и др., 2012; Wanner et al., 2008) на естественный тренд климата к похолоданию накладывается процесс глобального антропогенно-обусловленного потепления, обусловленного повышением содержания парниковых газов в атмосфере планеты. Очевидно, что такое сочетание разнонаправленных воздействий на глобальную и региональные ландшафтно-климатические системы отрицательно влияет на их устойчивость.

Оценка реакции ландшафтных компонентов на глобальные изменения климата, проявляющиеся, прежде всего, в повышении температуры воздуха и изменении среднегодовых сумм и режима выпадения атмосферных осадков, является одной из актуальных фундаментальных научных проблем современности, которая требует всестороннего изучения (Шестой оценочный..., 2023).

В то время как реконструкции растительности и климата голоцена в бассейне озера Байкал уже довольно многочисленны (Белова и др., 1985; Безрукова и др., 1991, 2005, 2010, 2012; Demske et al., 2005; Bezrukova et al., 2005, 2016; Shichi et al., 2009; Tarasov et al., 2007, 2009, 2017; Анри и др., 2018; Kobe et al., 2020; Kostrova et al., 2016), результаты изучения динамики экосистем гор Восточного Саяна остаются крайне малочисленными (Bezrukova et al., 2003, 2016, 2017, 2022; Fedotov et al., 2023; Mackay et al., 2012). Между тем, Восточный Саян находится на стыке трех крупных природных областей: Сибирской тайги, степей Центральной Азии и горных поясов растительности, что делает растительные сообщества на этой территории особенно чувствительными к климатическим колебаниям. Небольшие изменения температуры и влажности могут приводить к смещению границ лесов, альпийских лугов и степей.

В горах Восточного Саяна располагается большое количество озер, образовавшихся в голоцене и хранящих ценные архивы эволюции растительности и климата региона. Высокогорное положение озер делает их экосистемы очень чувствительными к колебанию климата, поскольку в высокогорных районах температура меняется быстрее, чем в подгорно-равнинных. Более быстрые изменения высокогорного климата будут иметь последствия далеко за пределами самих горных регионов, поскольку горы являются «водонапорными башнями» и основным источником воды для населения в равнинных регионах (Viviroli et al., 2007, 2011). Их географическое положение также влияет на удаленность от значительного антропогенного воздействия, что позволяет получить более точные результаты естественной изменчивости климата и растительности в регионе.

Улучшение нашего понимания возможных причин современного потепления, а также создания прогнозных сценариев изменения климата и растительности в горных регионах требует более детального исследования прошлой естественной изменчивости в различных климатических условиях. Полученные данные существенно дополняют имеющийся архив данных палинostrатиграфии Восточного Саяна, послужат материалом для калибровки климатических моделей голоценовой эпохи и помогут лучше понять роль континентальных регионов в глобальной климатической системе, а также помогут оценить устойчивость экосистем к климатическим изменениям и понять, насколько нынешние изменения выходят за пределы естественной изменчивости. Это обуславливает высокую актуальность наших исследований.

Степень изученности темы.

Изучение палинологическим методом озерных и болотных отложений Восточного Саяна началось примерно с середины XX века. Палинологические исследования в этот период времени чаще всего были сопутствующими этим направлениям и проводились точечно, в рамках геоморфологических, гляциологических или общих палеогеографических исследований (Алтае-Саянская..., 1969; Рельеф Алтае-Саянской..., 1988).

В конце XX века палинологические исследования болотных и озерных отложений Восточного Саяна стали проводиться систематически, однако наибольшее развитие исследования получили только в начале XXI века. Наибольший вклад в расширение палинологической базы данных голоценовой эпохи этой территории внесла Безрукова Елена Вячеславовна (Безрукова и др., 2003, 2010, 2011, 2016, 2017, 2022). По ее инициативе началось планомерное изучение болот и озер Восточного Саяна с целью получения непрерывных разрезов методом колонкового бурения. Палинологические исследования стали проводиться как самостоятельное направление, нацеленное на изучение динамики высотных поясов, изменения границ леса и реконструкции истории формирования темнохвойной тайги. Существенный вклад также внесли исследования Бляхарчук Т.А. (2020) и Маскау А.В. (2012).

Полученные результаты палинологического анализа сопровождались радиоуглеродным датированием, что позволило перейти к более точным хронологиям. Основными результатами этого этапа стали реконструкции основных климатических фаз голоцена, реконструкции распространения кедра и пихты на восточном макросклоне Саян и выявление значительной неоднородности растительного покрова, обусловленной сложным рельефом и экспозицией склонов.

Однако, несмотря на активное проведение исследования динамики климата и растительности на территориях Восточного Саяна в голоцене с помощью палинологического метода, опубликованных трудов, раскрывающих данную тематику, до сих пор остается явно недостаточно. Работа автора призвана заполнить некоторые пробелы в этой области знаний.

Целью работы является реконструкция растительного покрова и климата Окинского плато в среднем-позднем голоцене на основе палинологического анализа датированных отложений современных озер и болот региона, а также выявление возможного антропогенного воздействия на исследуемые объекты.

Для реализации поставленной цели необходимо было решить **следующие задачи**:

1) обобщить имеющиеся палинологические данные и основанные на них реконструкции динамики растительности и климата Восточно-Саянской горной области в среднем-позднем голоцене;

2) выявить характерные черты современных (субрецентных) спорово-пыльцевых спектров в пределах исследуемых районов как основу реконструкций;

3) провести палинологический анализ новых разрезов озерных и торфяных отложений;

4) выявить палинологические индикаторы антропогенного воздействия на растительный покров исследуемой территории;

5) реконструировать последовательность изменения растительного покрова и климата на основе новых данных палинологического анализа;

6) провести пространственно-временную корреляцию выделенных палеогеографических событий на изучаемой территории для понимания целостной картины природно-климатических изменений Восточно-Саянской горной области в среднем-позднем голоцене.

Объектом исследования послужили образцы субрецентных и донных отложений озер Ильчир, Саган-Нур, Номто-Нур, Шас-Нур и торфяных отложений из долины реки Сенца. **Предметом** исследования является изменение растительного покрова на территории Окинского плато в голоцене под влиянием климатических факторов.

Фактический материал. В основе работы лежат результаты палинологического анализа 28 образцов поверхностных отложений, 67 образцов из донных отложений озера Ильчир, 64 образцов из донных отложений озера Номто-Нур, 94 образцов из донных отложений озера Саган-Нур, 95 образцов из донных отложений озера Шас-Нур и 61 образца из торфяных отложений долины реки Сенца. Всего исследовано 409 образцов.

Личный вклад автора. Автором проведен спорово-пыльцевой анализ 300 проб с использованием микроскопа OLYMPUS CX31. Начато создание базы микрофотографий пыльцы и спор из изученных кернов. Освоена и выполнена статистическая обработка всего объема материала в программном обеспечении

Excel, TILIA/TGVew/TILIA GRAPH, Grapher 11. Совместно с руководителем проведена интерпретация результатов исследования и сформулированы защищаемые положения и выводы работы.

Методология и методика. Базовой концепцией работы являются принципы современного палинологического (спорово-пыльцевого) анализа – Н.А. Рудая (2010), в основе которого лежат принципы В.П. Гричук и Е.Д. Заклинской (1948), а также К. Faegri и J. Iversen (1989).

Для обработки полученных в результате бурения донных отложений озер и торфяных отложений образцов, а также субрецентных проб, использована стандартная процедура согласно Berglund (1986).

Пыльцу и споры идентифицировали с использованием микроскопа OLYMPUS CX31 при увеличении 400×, 600× и в отдельных случаях 1 000× с помощью опубликованных определителей пыльцы и атласов (Moore et al., 1991; Demske et al., 2013; Куприянова, Алешина, 1978; Бобров и др., 1983). Для подсчета концентраций использованы формулы J. Stockmarr (1971, 1973). Метод биомизации реализован согласно Prentice, 1996; Williams et al., 1998 основан на том, что каждый определенный в образце пыльцевой таксон соответствует растительному таксону/таксонам, которые, на основании знаний о современной их экологии, жизненных формах и распространении, относят к тому или иному функциональному типу растительности (ФТР), тогда как совокупность ФТР составляет биом.

Датирование образцов проводилось радиоуглеродным методом с использованием ускорительной масс-спектрометрии. Изучение смер-слайдов проводилось согласно принципам, изложенным в работе Rothwell (1989). Определение биогенного кремнезема осуществлено в соответствии с методикой Mortlock and Froelich (1989).

Научная новизна. В работе впервые:

— получены данные о составе современных (субрецентных) спорово-пыльцевых спектров из береговых и прибрежных отложений озер Ильчир, Номто-Нур, Шас-Нур, Саган-Нур;

— в результате изучения состава субрецентных спорово-пыльцевых спектров сформирована научно-методическая основа для корректной реконструкции растительности голоцена;

— методом палинологического анализа и ^{14}C -датирования изучены донные отложения озер Ильчир, Саган-Нур, Шас-Нур, Номто-Нур и торфяные отложения в долине реки Сенца;

— реконструирована последовательность палеогеографических событий в котловинах и водосборных бассейнах озер Ильчир, Саган-Нур, Шас-Нур, Номто-Нур и долине реки Сенца в среднем и позднем голоцене;

— реконструирована история пожаров в бассейнах озер Ильчир, Саган-Нур, Шас-Нур, Номто-Нур и долине реки Сенца в голоцене.

Теоретическая и практическая значимость. Полученные результаты существенно дополняют имеющиеся данные по изменениям климата и растительного покрова в голоцене на территории Восточного Саяна и юга Сибири, в целом, и могут быть использованы в региональных палеоэкологических, палеонтологических, палеогеографических и климатостратиграфических схемах. Данные по составу субрецентных спектров позволят повысить надежность и объективность реконструкций палеогеографических условий развития растительного покрова, а также прогнозных моделей климата.

Установленные закономерности состава субрецентных спектров составу современной растительности позволят оценить скорость антропогенного преобразования растительного покрова человеком в ближайшем будущем.

Защищаемые положения:

1. Представленность пыльцы абсолютно доминирующей на территории Окинского плато лиственницы сибирской в поверхностных спектрах изменяется в зависимости от открытости ландшафта и присутствия других видов деревьев. В среднегорном поясе с лесным типом растительности доля ее пыльцы составляет около 4-5 %; в высокогорном поясе (бассейн оз. Ильчир), где тип растительности лесотундровый, доля пыльцы лиственницы не превышает 2 %;

2. В среднегорном и высокогорном поясах растительности Окинского плато в среднем-позднем голоцене преобладали тундровый и северо-таежный типы растительности в умеренно-холодном климате. Сосна обыкновенная и сибирская в эти интервалы времени не достигали котловин изученных озер.

3. Антропогенное воздействие на региональные ландшафты Окинского плато началось около 600 л.н. В отложениях более ранних интервалов времени четких палинологических признаков антропогенной деятельности не найдено.

Степень достоверности полученных результатов обеспечена тщательным соблюдением методических правил и приемов при отборе и технической подготовке образцов, значительным количеством изученных палинологическим методом проб, высокой насыщенностью образцов палиноморфами, применением современных статистических методов обработки результатов, а также привлечением результатов других методов исследований (радиоуглеродного с ускорительной масс-спектрометрией, физико-химических свойств отложений, антракологического).

Апробация работы. Основные положения диссертации были представлены на Международных и Всероссийских конференциях, в том числе на V Всероссийской конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (Москва, 2019 г.); Международной научной конференции «Трансформация окружающей среды и устойчивое развитие в Азиатском регионе» (Иркутск, 2020 г.); Юбилейной мемориальной научной сессии, «Палеонтология, биостратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов» (Новосибирск, 2021 г.); XV Всероссийской палинологической конференции «Актуальные проблемы современной палинологии» (Москва, 2022 г.); Международной конференции «ENVIRONMENTIS 2022» (Томск, 2022 г.); IV всероссийской конференции «Эволюция биосферы и техногенез» (Чита, 2024 г.).

Научные проекты и программы, в рамках которых выполнена диссертационная работа. Работа выполнена в лаборатории экологической геохимии и эволюции геосистем ИГХ СО РАН и поддержана грантом РФФИ №19-05-00328-а «Эволюция природной среды гор юга Восточной Сибири в

позднем ледниковье и голоцене» (руководитель – Безрукова Е.В.), грантом РФФ № 23-17-00067 (руководитель – Безрукова Е.В.), а также проводилась в рамках реализации государственного задания Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (проект № 0284-2021-0003) «Пространственно-временная изменчивость экосистем и климата Восточной Сибири в позднем плейстоцене-голоцене».

Публикации. По материалам проведенных исследований опубликовано 24 работы, в том числе 17 тезисов и 7 статей, цитируемых в ВАК и международных базах данных Scopus, Web of Science.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, списка литературы из 177 наименований, в том числе 113 на иностранном языке. Материал работы изложен на 157 страницах, включая 4 таблицы и 39 рисунков.

Благодарности. Автор искренне благодарит своего научного руководителя д.г.н. Безрукову Е.В., заведующую лабораторией экологической геохимии и эволюции геосистем, за предоставление керновых материалов для исследования, результатов датирования отложений, всестороннюю поддержку и помощь в оформлении диссертационной работы. Выражает признательность Керберу Е.В. за помощь в освоении программного обеспечения TILIA и расчет возрастных моделей для седиментационных разрезов; Левиной О.В. за предоставление результатов определения биогенного кремнезема и плотности отложений; к.г.н. Решетовой С.А. за помощь с определением пыльцевых палиноморфов; Летуновой П.П. за консультации при определении непыльцевых палиноморф и помощь в анализе субрецентных проб; к.х.н. Амосовой А.А. за предоставление результатов подсчета потерь при прокаливании в отложениях озера Номто-Нур; ведущему инженеру Ткаченко Л.Л. за предоставление результатов анализа донных отложений озер методом смер-слайдов; к.г.-м.н. Щетникову А.А., к.г.-м.н. Крайнову М.А., к.г.-м.н. Филинову И.А. за организацию и проведение экспедиционных исследований и за предоставление результатов измерения магнитной восприимчивости для донных отложений озера Номто-Нур.

ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ПАЛЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ВОСТОЧНО-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ В ФИНАЛЕ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА И В ГОЛОЦЕНЕ

Как известно, озерные, как любые водные системы находятся под влиянием различных природных факторов, включая изменение климата (Michelutti et al., 2007; Moore et al., 1991; Baulch et al., 2005; Reuss et al., 2010), биотические взаимодействия (Parker et al., 2008), развитие почв и растительности в их водосборных бассейнах (Renberg et al., 1990; Engstrom et al., 2000; Boyle et al., 2007). Подобное влияние может приводить к разным изменениям в процессах водосборных бассейнов и самих озерных экосистемах. Например, могут развиваться естественные сукцессии растительности и выщелачивание почвы, приводя к изменению снабжения растворенным органическим углеродом и питательными веществами вод озер, рек или болот. Это, в свою очередь, влияет на водные сообщества животных и растений, биологическую продуктивность водных систем (Michelutti et al., 2007; Reuss et al., 2010; Engstrom et al., 2000; Birks et al., 2000).

Наиболее стабильными водными системами, менее подверженными иссушению и разрушению в короткий период времени, являются озера и связанные с озерами гидрологические системы.

Имеющиеся знания о том, как озера развиваются в течение длительного времени в разных регионах, иногда довольно скудны; записи инструментального мониторинга, как правило, короткие, поэтому модели озерного онтогенеза обычно создаются на основе палеолимнологических данных.

В последние несколько десятилетий, благодаря исследованиям донных отложений озера Байкал, небольших озер и торфяников с его побережий, значительно повысилось понимание процессов ландшафтно-климатических изменений Байкальского региона в позднеледниковье и голоцене. Однако территории, отдаленные от озера Байкал, изучены крайне неравномерно и во многих случаях представляют собой “белые пятна”, где палеоклиматическая информация скудна или отсутствует (Рыжов и др., 2014). Таким образом, для

составления более полной картины ландшафтно-климатических изменений региона, палеоэкологическое исследование его территорий продолжается по настоящий день.

Часто данные, полученные ранее, требуют уточнения или дополнения. Поскольку процесс развития науки, в том числе и экологической, и применяемых ею методов, непрерывен, и исследование продолжается даже в ранее изученных районах.

Палеоклиматические, особенно палинологические записи из внутриконтинентальных регионов важны для понимания прошлых изменений в климатической системе Земли, оценки чувствительности экосистем таких регионов к будущим климатическим вариациям (Rey et al., 2022). Пыльцевые записи из ключевого объекта северной части Центральной Азии – донных отложений озера Байкал и торфяников его бассейна показали общую направленность реакции региональной растительности на изменения глобального климата в позднем ледниковье и голоцене (Безрукова и др., 1991; Demske et al., 2005; Tarasov et al., 2007, 2019; Безрукова и др., 1996, 2008; Bradbury et al., 1994; Takahara et al., 2000; Horiuchi et al., 2000). Однако часть пыльцевых записей имеет низкое временное разрешение (Безрукова и др., 1991; Bradbury et al., 1994), другие слабо обеспечены хронологическим контролем (Безрукова и др., 1996), несмотря на прогресс в методах абсолютного датирования (Krivonogov et al., 2004). В некоторых записях утеряна часть информации для позднего голоцена (Demske et al., 2005) или представлена лишь динамика обилия небольшого числа пыльцевых таксонов древесной и кустарниковой флоры, определенных до уровня рода, что сильно ограничивает достоверность реконструкций (Horiuchi et al., 2000). К тому же реконструкция природной среды позднего ледниковья по пыльцевым записям из озера Байкал оказалась проблематичной из-за малого количества пыльцы и спор в отложениях этого временного интервала (Tarasov et al., 2007). Низкое содержание в отложениях озера органического материала определяет трудности в получении надежного хронологического контроля реконструкций, что и заставляет искать новые объекты исследования.

Большой вклад в палинологические исследования голоцена юга Восточной Сибири внесли работы В.А. Беловой, Е.В. Безруковой, Н.В. Кулагиной, С.А. Решетовой, П.Е. Тарасова, Д. Демске, Ф. Кобе, Ш. Мюллер и др.

Палеоклиматические и палеоэкологические исследования из Байкальского региона показали, что оптимальное время для лесной растительности здесь имело место ~ 10 000-6 500 кал.л.н. (Безрукова и др., 1991; Demske et al., 2005; Tarasov et al., 2007, 2009, Безрукова и др., 1996, 2008, 2011; Bradbury et al., 1994; Takahara et al., 2000; Horiuchi et al., 2000; Bezrukova et al., 2010; Решетова и др., 2013).

Предполагается, что прошлые климатические изменения Байкальского региона наиболее близки к тренду климатической изменчивости в Северной Евразии и Центрального Китая. Сравнение времени регионального оптимума голоцена с его наступлением в Северной Евразии показало, что на ее территории оптимум голоцена наступал ~ 11 000-7 000 кал.л.н. Его существование обычно рассматривается как следствие высокой летней инсоляции, завершения распада Скандинавского ледникового щита и потепления в северной Атлантике (Kutzbach et al., 1998; Velichko et al., 1997; MacDonald et al., 2000).

Оптимум голоцена на севере Центрального Китая имел место ~ 10 000-7 000 кал.л.н. и определялся как пик активности восточноазиатского муссона с максимальными за весь голоцен значениями суммы атмосферных осадков летом (Xiaoqiang et al., 2004).

Отдельный интерес представляет исследование территорий, где на относительно небольшом удалении друг от друга находятся несколько озерных и болотных экосистем, не подверженных активному антропогенному влиянию, развивающихся в схожих климатических условиях. Такой территорией является Окинское плато, расположенное в межгорной котловине Восточного Саяна (рис. 1).

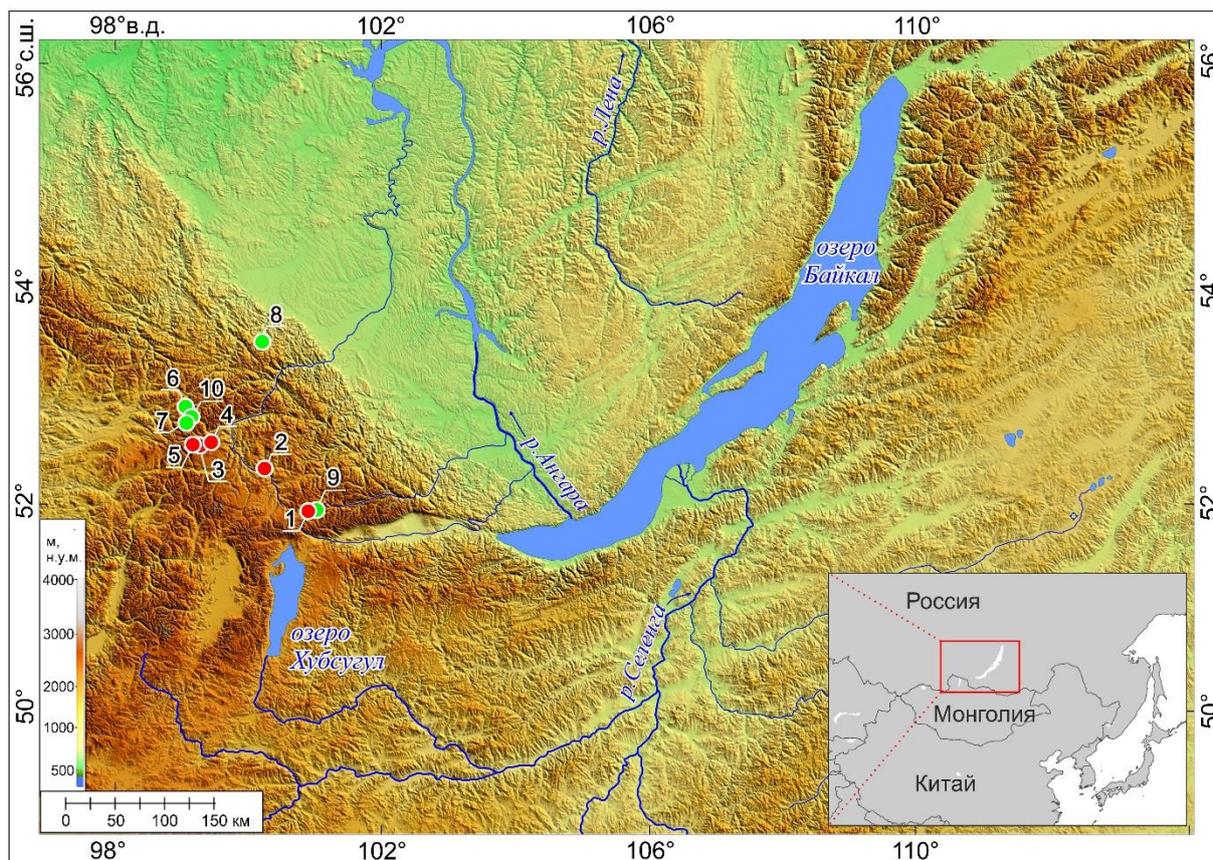


Рисунок 1. Карта-схема расположения объектов, изученных методом палинологического анализа

Красным цветом обозначены изученные нами объекты, результаты исследования которых представлены в данной диссертационной работе (1 – оз. Ильчир, 2 – оз. Саган-Нур, 3 – оз. Номто-Нур, 4 – оз. Шас-Нур, 5 – разрез торфяных отложений в долине реки Сенца); зеленым цветом приведены объекты исследований предыдущих лет (6 – оз. Хикушка, 7 – оз. Хара-Нур, 8 – разрез Ярма, 9 – оз. ESM–1, 10 – оз. Каскадное).

В 2002 году проведен палинологический и радиоуглеродный анализ, а также изучен ботанический состав торфяных отложений из разреза «Ярма», находящегося на территории Восточного Саяна, в пределах Окинского хребта (рис. 2) (Безрукова и др., 2004). Восстановлен облик локальной и региональной растительности, а также характер изменения климата за последние 6 000 лет с интервалом в 200 лет. Выявлено, что отличительной чертой изменения климата исследуемой территории является чередование эпох повышенной и пониженной

влажности, что вызывало значительные изменения в составе растительного покрова.



Рисунок 2. Картограмма расположения разреза «Ярма» (построено на базе программы Google Earth, эл. рес.)

Периоды повышенной увлажненности характеризовались расширением площадей еловых (*Picea obovata* Ledeb.), пихтовых (*Abies sibirica* Ledeb.) и сосново-кедровых лесов, в то время как периоды повышенной континентальности климата – расширением площадей сосновых и лиственничных лесов и степных группировок с участием лилейных Liliaceae Juss. (*Allium* L.), астровых Asteraceae Bercht. & J.Presl (полынь (*Artemisia* L.) в том числе).

В результате исследования была восстановлена картина естественного сукцессионного процесса растительности от начала формирования торфяника с 6 100 кал.л.н. до современности на разных географических уровнях. Результаты палинологического анализа охарактеризовали особенности развития региональной и локальной растительности, результаты ботанического анализа остатков тканей растений – особенности локальной флоры, изменения

гидрологического режима болота и, соответственно, режима питания. Смена растительности была обусловлена в первую очередь изменением климата (Безрукова и др., 2004).

Полученный материал свидетельствует о том, что исследование высокогорных торфяников, сформировавшихся на высотном (экстремальном) пределе существования лесной растительности, имеет особенно важное значение в решении вопросов характера изменения климатических и палеоландшафтных условий теплых периодов. Это дает возможность реализации ряда прикладных задач палеоклиматологии, палеоботаники, палеогидрологии.

В 2012 году международной группой исследователей были опубликованы результаты комплексного изучения высокогорного озера ESM-1 (рис. 3), одного из системы озер Ильчирского грабена в Восточных Саянах. Основная цель этого исследования состояла в том, чтобы реконструировать изменение ландшафтов и онтогенез озера в климатически чувствительном альпийском регионе Южной Сибири.

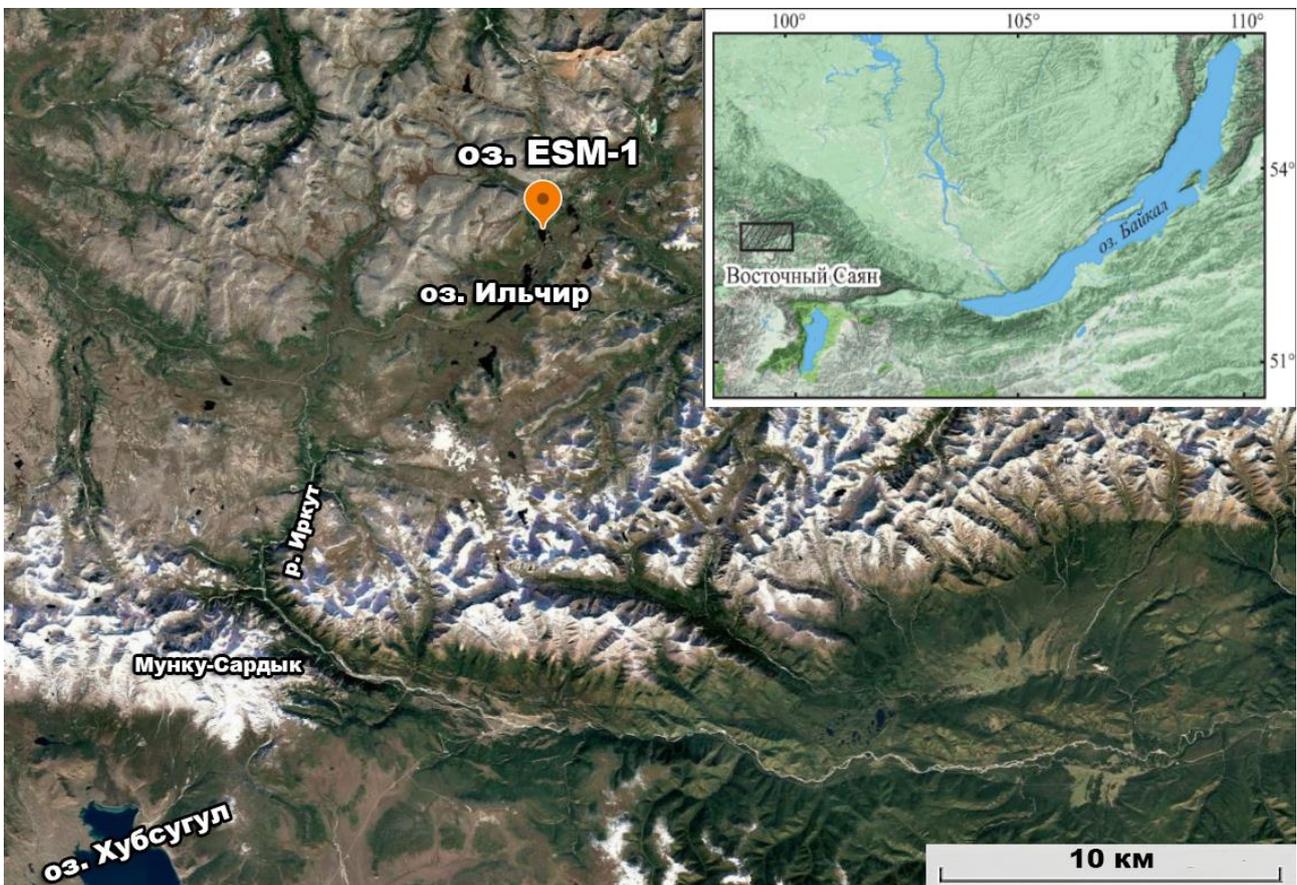


Рисунок 3. Схема расположения озера ESM-1 (построено на базе программы Google Earth, эл. рес.)

Результаты показывают, что после дегляциации озеро не подвергалось процессу постепенного подкисления, скорее всего, из-за наличия постоянной вечной мерзлоты и низкого уровня осадков, что препятствовало попаданию основных катионов и растворенного органического углерода в озеро (за исключением периода между 1 700 и 700 кал.л.н.). Был сделан вывод, что озера в континентально-бореальных регионах испытывают другие модели онтогенеза, чем в океанически-бореальных районах. В отличие от других обсуждаемых регионов, климат является здесь более важной движущей силой изменения экосистемы, чем изменения водосбора. Также было продемонстрировано, что начало времени, совпадающего с началом малого ледникового периода (Weber et al., 2011), привело к важным изменениям в растительности водосбора и водных сообществах.

В 2013 году были опробованы донные отложения озера Хара-Нур (рис. 4), Жомболокский вулканический район Окинского плато. Современная растительность района представлена светлохвойной тайгой с господством лиственницы, редкой примесью сосны сибирской, березы (*Betula alba* L.), ели. Основой реконструкций стали результаты палинологического, рентгенофлуоресцентного анализа, определения физических и магнитных свойств осадка с интервалом 1-0,5 см и рассчитанные на их основе индексы изменения природной среды и климата (Безрукова и др., 2016).

Сумма данных свидетельствует о существовании во время формирования базального горизонта керна в центре озера Хара-Нур речного (временами болотного) осадконакопления 6 880 – 6 000 кал.л.н. Темнохвойные леса росли вблизи точки отбора керна, поскольку их пыльца оседает в массе под пологом леса (Bezrukova et al., 2005). Климат был влажный, умеренно-холодный, со среднегодовой суммой атмосферных осадков выше 600 мм, необходимой для господства темнохвойных лесов.

Характер изменения реконструированных показателей означает отступление лесной растительности от точки бурения позднее 6 000 кал.л.н., следовательно, озеро Хара-Нур в размерах, близких к современным, образовалось примерно в то же время. Сокращение темнохвойной тайги в районе

позднее 6 000 кал.л.н. согласуется с реконструкциями из Байкальского региона (Tarasov et al., 2007) и происходило из-за снижения атмосферного увлажнения и повышения континентальности климата (Безрукова и др., 2016).

Сумма аналитических данных показала значительные изменения в природно-климатической обстановке Жомболокского района за последние почти 7 000 лет. Формирование пойменного режима по берегам палеоводотока с образованием торфянистых прослоев, согласно полученным данным, началось около 7 000 кал.л.н., совпадая с извержением около 7 130 кал.л.н. (Ivanov et al., 2011). Реконструкции показали, что лавовый поток не был причиной формирования озера Хара-Нур в его современном облике. Озеро сформировалось позднее 6 000 кал.л.н. (Безрукова и др., 2016).

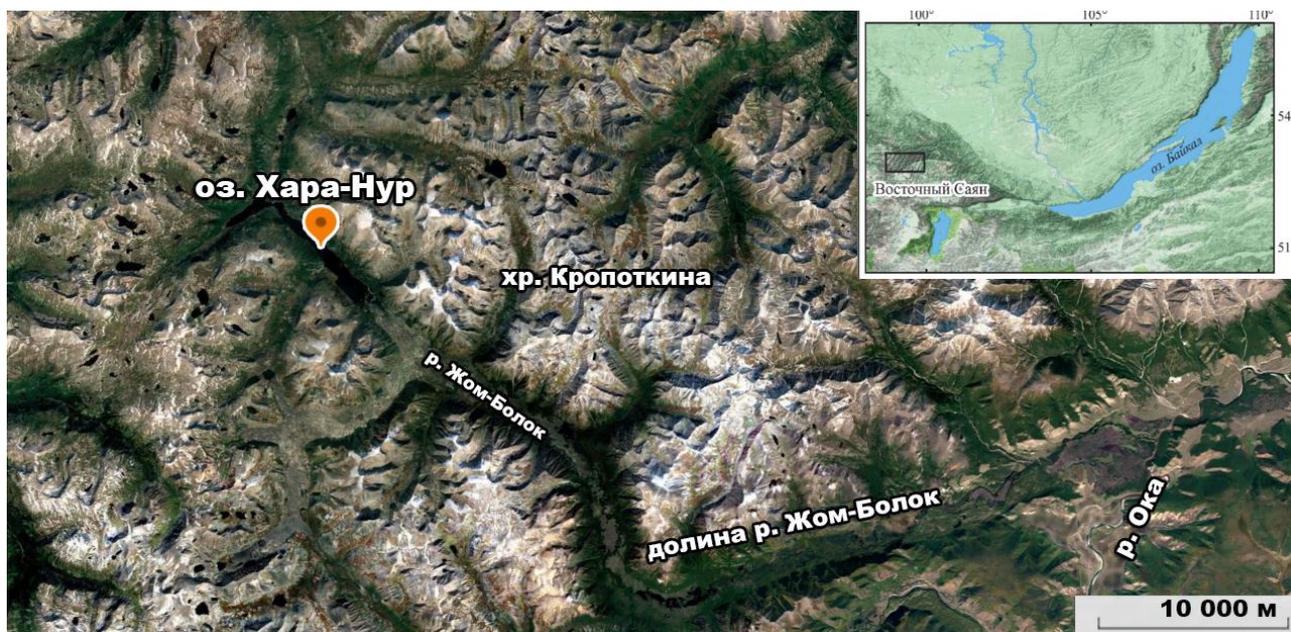


Рисунок 4. Схема расположения Жомболокского вулканического района, составленная с использованием космического снимка Landsat 7 2000 (построено на базе программы Google Earth, эл. рес.)

Выявленные вулканические события среднего голоцена не оказали катастрофического влияния на региональные ландшафты, но привели к подпруживанию реки, появлению озера Хара-Нур и изменениям локальной растительности.

Выявленная корреляция региональных событий с известными записями природной среды Северного полушария свидетельствует, скорее, о решающем

влиянии глобальной атмосферной циркуляции на перестройку ландшафтно-климатической системы Жомболокского района в среднем-позднем голоцене.

Проведенное исследование подчеркнуло важность и необходимость комплексного исследования донных отложений подпрудных озер и самих продуктов вулканических извержений из таких уникальных районов для выяснения хронологии, интенсивности извержений, их влияния на природную среду Центральной Азии (Безрукова и др., 2016).

В 2021 году были представлены данные спорово-пыльцевого анализа (СПА) из керна донных отложений озера Каскадное, расположенного на Окинском плато, на высоте 2 080 м над уровнем моря. Максимальная глубина озера Каскадное – 7 м, площадь поверхности 2,5 км² (рис. 5). Озеро питается за счет атмосферных осадков и разгрузки подземных вод.



Рисунок 5. Местоположение озера Каскадное (отмечено звездочкой) (построено на базе программы Google Earth, эл. рес.)

В результате проведенного исследования были получены первые непрерывные, самые длительные и датированные данные об изменении природной среды Окинского плато, отражающие динамику климата и растительности в горах Восточного Саяна, где хранятся значительные запасы

пресной воды Сибири. Эти данные позволили установить, что бассейн озера Каскадное был свободен от льда уже ~ 14 200 кал.л.н., и в районе начался процесс лимногенеза. Умеренно-холодный и влажный климат начала позднеледникового времени был благоприятен для развития в бассейне озера тундрово-степной растительности с участием ели, пихты и лиственницы. Позднее, снижение общей увлажненности района в стадиал GS-1 привело к деградации ели и пихты. Более теплые и сухие, чем ранее, летние сезоны стали причиной локального сокращения лесной растительности в бассейне озера Каскадное ~ 11 600-9 000 кал.л.н., но способствовали расширению сосны обыкновенной в низкогорном поясе, которое продолжилось в период времени примерно от 9 000 до 4 000 кал.л.н. Снижение летней инсоляции, а вслед за ней летних температур на широте Окинского плато, привело к расширению в бассейне озера Каскадное-1 лиственницы и сосны сибирской в последние ~ 4 500 лет (Безрукова и др., 2021).

В 2022 году были представлены результаты изучения донных отложений озера Хикушка, которое располагается в верховье пади Хи-Гол над уровнем моря в 1956 метров (рис. 6). Озеро имеет каровое происхождение и занимает нижнюю высотную позицию в каскаде озер каровой лестницы. Ложе озера образовано грубообломочными породами, покрытыми глинистыми отложениями. На максимальной глубине в озере накопились озерные илы. В отложениях озера высока доля тонко отсортированных слабо окатанных терригенных пород.

Полученные пыльцевые данные из озера Хикушка позволили реконструировать изменения окружающей среды на Окинском плато за последние 13 400 лет. Этот интервал включает в себя позднеледниковое потепление климата в аллереде (AL) и похолодание позднего дриаса (YD), а также весь голоцен.

Состав пыльцевых спектров демонстрирует значительное участие бореальных деревьев в растительном покрове между 13 490 и 12 600 кал.л.н. Однако растительность носила неоднородный характер, в ландшафте преобладала кустарничковая тундра с березой, ольхой кустарниковой (*Duschekia*

fruticosa (Rupr.) Pouzar) и ивой кустарниковой (*Salix sp.*). Значительные площади занимали степные ассоциации с полынью и маревыми (*Chenopodiaceae* Vent.)

Граница плейстоцена и голоцена формально определена на уровне 11 700 кал.л.н. (Walker et al., 2009). В пыльцевой летописи озера Хикушка этот временной интервал отмечен быстрым и резким снижением доли ели, хотя более заметные изменения в растительном покрове были реконструированы позднее, около 11 200 кал.л.н. В районе произошло значительное распространение пихты (скорее всего, стланикового типа, как сегодня) и постепенное распространение сосны обыкновенной в среднегорном поясе. Результаты реконструкции биомов показывают, что в водосборе озера с началом голоцена произошло снижение степного биома и расширение лесной растительности. Озерная система по-прежнему оставалась малопродуктивной.



Рисунок 6. Положение озера Хикушка на Окинском плато (построено на базе программы Google Earth, эл. рес.)

Результаты реконструкции более поздних интервалов голоцена показывают, что лесной биом доминировал в среднегорно-таежном поясе исследуемой территории на протяжении последних 6 500 лет. Выводы об этом

базируются, в основном, на данных о высоком содержании пыльцы обеих сосен и березы. Присутствие пыльцы лиственницы в отложениях, сформировавшихся позднее 5 000 кал.л.н., позволяет предположить, что лиственница произрастала в составе локальной растительности недалеко от озера. Эта тенденция идет параллельно с уменьшением летней инсоляции и увеличением зимней инсоляции.

Имеющиеся результаты показали преобладание на Окинском плато тундрового биома в аллереде, ок. 13 490-12 600 кал.л.н., что свидетельствует о континентальном и холодном климате. Однако пыльцевые записи демонстрируют заметное участие в растительности в это время и деревьев, таких как ель и лиственница. Кратковременное сокращение лесного биома ок. 12 600-12 500 кал.л.н. могло быть реакцией региональной растительности на похолодание климата в стадиал поздний дриас. Позже, ок. 12 500-11 200 кал.л.н., реконструкция свидетельствует о сокращении степного и тундрового биомов за счет продолжающегося распространения ели и лиственницы вокруг изученных озер. Короткий интервал времени ок. 11 200-10 500 кал.л.н. характеризуется максимальным распространением пихты и таежного биома, свидетельствуя о самом влажном и умеренно-континентальном климате в высокогорной зоне Окинского плато за последние 13 490 лет. В следующий интервал времени, ок. 10 500-6 500 кал.л.н., происходило постепенное расширение таежного биома с преобладанием сосны обыкновенной в средне- и низкогорно-таежных поясах Восточного Саяна и Окинского плато. Лесной биом доминировал на исследуемой территории в последние примерно 6 500 лет. Начиная примерно с 5 000 кал.л.н. лиственница и сосна сибирская начали приближаться к высокогорной зоне, означая повышение их верхней границы в горах Восточного Саяна, а растительность стала приобретать современный характер.

Из опубликованных данных следует, что палеоэкологические и палеоклиматические исследования на юге Восточной Сибири и в Восточно-Саянской горной стране начались около 20 лет назад, но не носили систематического характера. В виду обширной площади и труднодоступности исследуемых территорий еще остается множество «белых пятен», не изученных

мест, но постепенно эти пробелы восполняются, а данные с уже исследованных мест – уточняются, создавая более полную картину палеоэкологической изученности региона и формируя обширный пласт знаний об истории региона и его развитии.

В целом, обзор опубликованных трудов показал, что на современном этапе развития знаний о региональной растительности и климате, изученность голоценовых отложений региона неравномерна, обеспеченность палинологических записей надежными возрастными моделями также неравноценна.

Изученные результаты обозначили недостаток более высокоразрешающих палеоэкологических исследований на основе палинологического анализа для среднегорного пояса Окинского плато. Отсутствие результатов изучения состава современных спорово-пыльцевых спектров (СПС) из горных районов Окинского плато требует инициирования развития научно-методической основы интерпретации ископаемых пыльцевых спектров.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Природные условия Восточно-Саянской горной страны

2.1.1. Рельеф

Восточный Саян расположен в пределах палеозойской Алтае-Саянской складчатой области Урало-Охотского подвижного пояса и представляет собой складчато-покровное горное сооружение, примыкающее к юго-западному краю древней Сибирской платформы (рис. 7).

Восточный Саян характеризуется горным рельефом с колебанием высот над уровнем моря. Различают симметричную западную и асимметричную восточную части. В юго-восточном направлении возвышаются высокогорные хребты, испытывающие наиболее интенсивное неотектоническое поднятие, с альпийскими формами рельефа в виде острых пик, каров и цирков. (Самойлова и др., 2004).

Дно каров представлено множеством озёр. Вершины хребтов часто гребневидной формы с небольшими ледниками и снежниками-перелетками. Обширные площади занимают курумы. Днища долин несут следы ледниковой деятельности. Особенностью юго-восточной части Восточного Саяна является пологонаклонные базальтовые и туфоловые плато. В межгорных котловинах (Тункинская и др.) – различные формы аккумулятивного рельефа, в том числе холмисто-моренный. В пределах базальтовых плато распространены прямолинейные долины с прямоугольными изгибами, заложенные по разломам. В долинах рек Жом-Болок, Сайлаг встречаются потоки плейстоценовой базальтовой лавы с врезанными каньонами, многочисленными водопадами (Самойлова и др., 2004).

По особенностям геологического строения и возрасту заключительной стадии складчатости Восточный Саян разделяют на две части: древнюю байкальскую на северо-востоке и более молодую, в основном каледонскую, на юго-западе, разделённые Главным Саянским разломом (Рельеф..., 1988; Седелников, 1988).

ВОСТОЧНЫЙ И ЗАПАДНЫЙ САЯНЫ. СХЕМА ОРОГРАФИИ

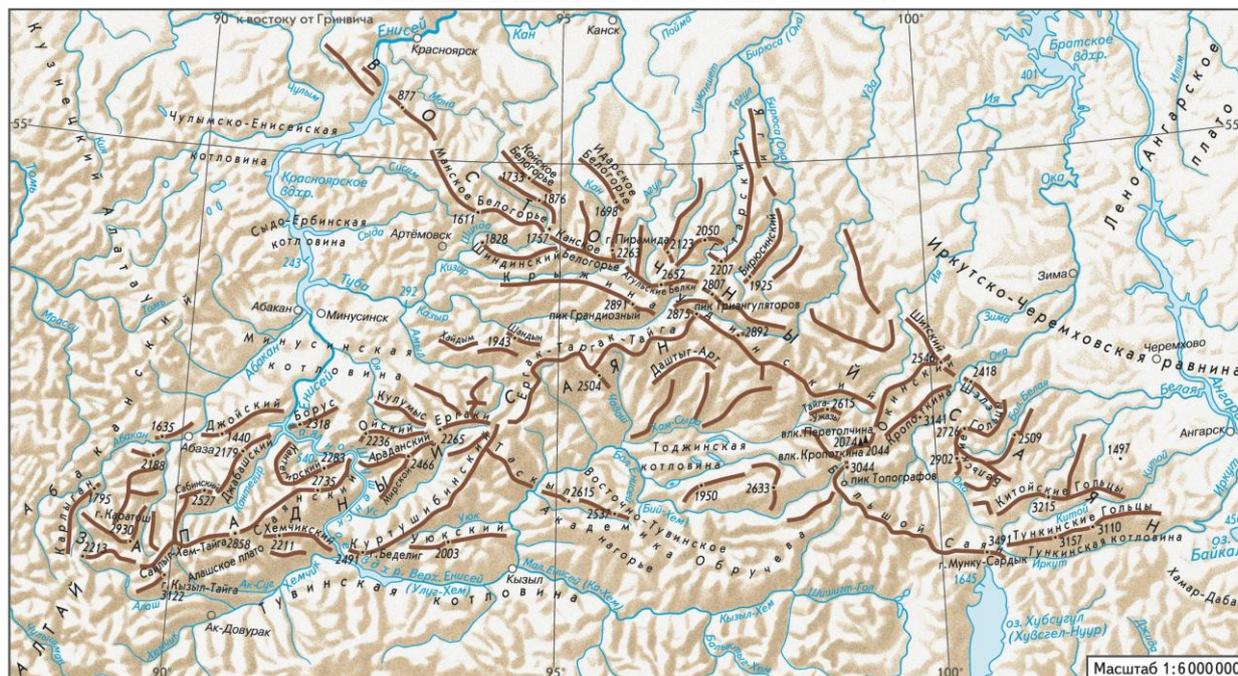


Рисунок 7. Схема орографии и гидрографическая сеть Восточного Саяна
(Самойлова и др., 2020)

Район наших исследований, Окинское плато, расположено в юго-восточной части Восточного Саяна и имеет орографически четко выраженные рубежи. С севера к плоскогорью примыкает хребет Кропоткина с абсолютными высотами до 2 800-2 900 м, который круто обрывается в сторону Окинской котловины, являющейся частью плоскогорья. Горные массивы Сенцинско-Тиссинский, Тиссинско-Дибинский и Дибинско-Хоренский достигают высот 2 500-2 900 м (Уфимцев и др., 2007). Высшая точка Восточных Саян: гора Мунку-Сардык (3 491 м).

Юго-восточная граница Окинского плато проходит по отрогам Тункинских и Китайских Гольцов, имеющих сильно расчлененный альпинотипный рельеф и максимальные высоты до 3 260 м. Таким образом, горное обрамление плоскогорья представлено хребтами и массивами, достигающими 3 000-3 491 м. Само же плато расположено на высотах 1 900-2 500 м, поэтому превышение над его поверхностью составляет 400-500 м (Масютина и др., 2019).

2.1.2. Климат

Климат Восточного Саяна континентальный на северо-западе и резко континентальный на юго-востоке, с продолжительной суровой зимой и прохладным летом, в течение которого выпадает основная масса осадков.

В низкогорьях средние температуры января варьируются от -17 до -25 °С, июля от $+12$ до $+14$ °С. Преобладают западные и юго-западные ветра. Годовое количество осадков зависит от экспозиции склонов: на западных и юго-западных склонах выпадает 800-1 200 мм и более; на восточных и юго-восточных склонах – около 300 мм. Наибольшая мощность снежного покрова отмечается на стыке Западного и Восточного Саяна, а также в Тункинских и Китойских Гольцах; здесь же сходят самые мощные лавины. Высота снеговой линии от 2100 м на северо-западе до 2 700 – 3 000 м на юго-востоке (Севастьянов и др., 1998).

Многолетняя мерзлота широко распространена в высокогорьях восточной части. Выше 1 500–2 000 м в юго-восточной части Восточного Саяна мерзлота имеет сплошное распространение (мощность 300-600 м), а в среднегорьях и низкогорьях носит островной характер (Самойлова и др., 2004).

Продолжительность снежного покрова более пяти месяцев. Продолжительность времени между полным сходом снега и наступления периода вегетации у растений составляет в среднем 10 дней. Под пологом леса высота снежного покрова в среднем составляет 56 см, на открытых площадях около 22 см. В I-й декаде марта достигается наибольшая высота снежного покрова. Склоны южных, юго-восточных, юго-западных экспозиций освобождаются от снега на 5-10 дней раньше, чем северные, что обуславливает их более раннее созревание для возникновения пожаров. Май и июнь считаются самыми ветренными месяцами, что также повышает пожарную опасность в лесу в этот период (Крутовская, Буторина, 1958).

2.1.3. Гидрографическая сеть

Большая часть озер Восточного Саяна, располагающихся в горных котловинах, ледникового генезиса: каровых и моренно-подпрудных. Многие

озера имеют тесную гидрологическую связь с протекающими по горным склонам и плато реками. В долинах рек встречаются заболоченные участки.

Речная сеть Восточного Саяна относится к бассейну реки Енисей. На южных склонах наиболее крупными водотоками являются река Большой Енисей и его правые притоки: Баш-Хем, Тоора-Хем, Азас, Хам-Сыра, а также притоки реки Ангара: Уда, Ока, Ия, Белая, Китой, Иркут. Большинство рек имеет горный характер (пороги, перекаты, водопады) (Самойлова и др., 2004).

Река Сенца является притоком реки Оки, и берет начало от слияния рек Дарн, Дунда-Гол и Хойто-Гол.

Иркут берёт начало в горном узле Нуху-Дабан в Восточном Саяне на высоте 1 952 м над уровнем моря, вытекая из озера Ильчир. Длина реки составляет 488 км; площадь водосбора – 15 000 км² (Большая советская энциклопедия, 1986).

Ока – один из наиболее многоводных левых притоков реки Ангары, впадает в Окинский залив Братского водохранилища. Берёт начало из озера Окинского в 20 км к северу от массива Мунку-Сардык в Восточном Саяне. Площадь водосбора составляет 73 000 км² (в пределах области 18 000 км²).

Питание рек Восточно-Саянской горной страны преимущественно дождевое и снеговое, от расположенных на юго-западе ледников и снежников (Зеленская, Шишелова, 2014). Снеговое питание рек характерно для среднегорных районов, дождевое питание рек преобладает в низкогорьях. (Рельеф..., 1988).

Площадь и число озёр и искусственных водоёмов, болот и заболоченных земель непостоянны, они зависят от природных (водный режим, климатические явления и др.) и антропогенных (регулирование стока и др.) факторов (Зеленская, Шишелова, 2014).

2.1.4. Почвенный покров

Почвенный покров Восточно-Саянской горной страны имеет четкую вертикальную географическую поясность.

Среди материнских пород горных почв Восточного Саяна преобладают осадочные: конгломераты, брекчии, песчаники, алевролиты, а также мраморы и известняки в Восточном Саяне и хребте Сенгилен. Изверженные и метаморфические породы имеют преимущественно средний и кислый состав. Котловины выполнены мощной аллювиально-пролювиальной толщей, нередко песчаной, иногда с галечником; местами почвообразующими породами служат маломощные лёссовидные суглинки или морены.

В высокогорьях Восточно-Саянской горной системы преобладают горно-тундровые почвы, которые сочетаются с горно-луговыми. Последние занимают очень малые площади (на северо-западе и юго-востоке). Горные тундры – мохово-лишайниковые, остепненные и ерниковые – выше 2 000-2 500 м, в гольцовом поясе, чередуются со скальными выходами и курумниками.

Верхнему подгольцовому поясу (1 700-2 000 м) лиственнично-кедровых редколесий с ерниками соответствуют альфегумусовые почвы, названные В.А. Носиным горно-таежными кислыми ожелезненными. В несколько более влажных условиях (в связи с экспозицией или крутизной склонов) под кедрово-лиственнично-еловыми лесами с покровом ерника, мхов и лишайников, с участием в нижнем ярусе таежного мелкотравья формируются горно-таежные перегнойные кислые оподзоленные почвы, длительно-сезонно-мерзлотные. Их характерные черты – образование перегнойного горизонта в холодных влажных условиях, мерзлотное оструктурирование и перемешивание, элементы слабого локального и временного надмерзлотного оглеения, способствующего оподзоливанию.

Ряд почв степного почвообразования в межгорных котловинах Саян включает черноземы обыкновенные и бурые полупустынные почвы (Герасимова, 2007).

2.1.5. Растительный покров

Для более сухих восточных и юго-восточных районов Восточного Саяна до высоты около 1000 м характерны лесостепи и сосново-лиственничные травяные леса на серых лесных почвах. На южных склонах встречаются участки

разнотравно-злаковых степей на тёмно-каштановых и чернозёмных почвах. В межгорных котловинах – степи, переходящие с высотой в лесостепи предгорий. Светлохвойные леса располагаются в пределах низкогорья и частично среднегорья на высоте от 300 до 700 метров над уровнем моря и представлены лиственнично-сосновыми и лиственничными лесами. Сосновые формации по берегам крупных рек и их притоков занимают склоны, отличающиеся, редко, значительной крутизной. В низкогорном поясе для сосняков характерна однородность, выраженная в общности расположения по элементам рельефа, в составе древостоя и флористическом составе нижних ярусов. По возрастной структуре древостои представлены, в основном, спелыми и перестойными деревьями.

Структура вертикальной поясности усложняется на высоте 400-600 метров: светлохвойный пояс сменяется темнохвойными пихтовыми лесами (Смагин и др., 1980).

На высоте 1 000-2 100 м доминируют кедрово-лиственничные и лиственничные леса на подбурях.

Еловые леса занимают ограниченные площади и приурочены к долинам рек и ручьев. Встречаются еловые леса во всех поясах и образуют осоковые, сфагновые, травяные, зеленомошные группы типов леса.

Верхняя граница леса находится на высоте до 1 900-2 100 м на востоке. Выше границы леса на крайнем востоке встречается лиственничное редколесье с зарослями берёзки, местами – кедрового стланика (*Pinus pumila* (Pall.) Regel), курильского чая (*Dasiphora fruticosa* (L.) O.Schwarz), жимолости (*Lonicera* L.). Среди высокогорных ландшафтов на высоте 1 900-2 700 м на восточном склоне господствует горная тундра, покрывающая плоские белогорья и высокие плоскогорья. На склонах и поверхностях выравнивания наиболее распространены ерничково-лишайниковые и мохово-лишайниковые тундры на литозёмах грубогумусовых, на выпуклых каменистых поверхностях – дриадово-лишайниковые, при повышенной влажности и снегонакоплении в верховьях рек, карах – кустарниковые (ерник, курильский чай, ива (*Salix* L.)) осоково-моховые тундры. На слабо дренируемых участках преобладают кустарниковые и мохово-

лишайниковые тундры на гумусово-иллювиальных оподзоленных и поверхностно-глеевых почвах (Седельников, 1988).

На склонах также встречаются тополь (*Populus alba* L.), ольха (*Alnus* Mill.), ива (*Salix* L.), рябина (*Sorbus* L.), черемуха (*Prunus padus* L.). Среди кустарниковых пород, образующих подлесок, выделяются калина (*Viburnum* L.), бузина (*Sambucus* L.), желтая акация (*Caragana arborescens* Lam.), жимолость, шиповник, смородина (*Ribes* L.), боярышник (*Crataegus* Tourn. Ex L.), багульник (*Ledum* L.). Травянистый покров лесов представлен такими растениями, как брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), черника (*Vaccinium myrtillus* L.), голубика (*Vaccinium uliginosum* L.), майник (*Maianthemum* F.H.Wigg.), грушанка (*Pyrola* L.), плаун (*Lycopodium* L.), морощка (*Rubus chamaemorus* L.), вейник (*Calamagrostis* Adans.), кислица (*Oxalis acetosella* L.), папоротник (Polypodiophyta), хвощи (*Equisetum* L.) и др. (Винокуров и др., 1998).

Степная растительность представлена 358 видами, среди которых выделяются ковыль (*Stipa* L.), овсяница овечья (*Festuca ovina* L.), типчак (*Festuca valesiaca* Schleich. Ex Gaudin), тонконог (*Koeleria* Pers.), житняк (*Agropyron* Gaertn.), степные полыни, чабрец (*Thymus* L.) и др. (Винокуров и др., 1998).

В высокогорье Восточного Саяна у верхней границы леса преобладают лиственничные редколесья. Плоские днища горных котловин подгольцового и верхней части лесного пояса заняты заболоченными альпийскими лугами. Островки ерников и ерниковые тундры характерны для подгольцового пояса. Лишайниковые тундры свойственны для гольцового и подгольцового поясов (Телятников, 2015).

2.2. Современные природные условия Окинского плато

Окинское плато (плоскогорье) – горный массив в Восточном Саяне, расположенный на высотах 1 500-2 350 м над уровнем моря, глубоко расчлененный речными долинами. Морфологически плоскогорье представляет собой древний пенеплен в виде обширных выровненных водораздельных поверхностей, над которым поднимаются резко изрезанные альпийские вершины или отдельные останцовые горы в виде плоских куполов или узких

гребней. На пене плене сохранились остатки древней слабоврезанной речной сети и следы ледниковой аккумуляции. Водоразделы выражены слабо, в большинстве случаев плоские и местами заболоченные (Холбоева, Иметхенов, 2008).

Высотный профиль начинается с растительности днищ глубоко врезуемых долин рек V-образной формы. На прирусловых валах, внутрипойменных террасах разного уровня сформированы мезокомбинации, по генезису относящиеся к аллювиальному и литотопологическому эколого-динамическим рядам (Холбоева, 2011).

Район исследования по схеме физико-географического районирования входит в Верхнеокинский гольцово-горно-таежный и Тисса-Дибинский округа, подгольцово-гольцовые Окинско-Тункинской горно-таежно-гольцовой провинции (Атлас Забайкалья, 1967).

В пределах Окинского плоскогорья по климатическим условиям выделяются 2 района: северная и северо-западная часть – полугумидный, южная и юго-восточная – семиаридный. Среднегодовая температура воздуха в зависимости от абсолютной высоты изменяется от $-5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1 372 м) до $-6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2 084 м). Зимой в среднем выпадает около 70 мм осадков, летом – около 370 мм, что составляет 65-75 % от среднегодовой суммы осадков (Научно-прикладной..., 1991). Максимум осадков приходится на июль. В зимний период формируется маломощный снежный покров, что приводит к глубокому промерзанию подстилающих пород. Постоянный снежный покров формируется уже в октябре и начинает таять с середины апреля.

Многолетнемерзлые породы имеют сплошное распространение, но их мощность становится меньше в западном и северо-северо-восточном направлении. Сплошное распространение мерзлых толщ нарушается сквозными таликами в зонах разломов, которые можно проследить по постоянно действующим источникам подземных вод (Shchetnikov et al., 2019).

В ландшафтной структуре Окинского плато доминируют лиственничные леса и редколесья, характерные для горно-таежного пояса континентального и

резкоконтинентальных климатических секторов Алтае-Саянской горной области.

Основной закономерностью в распределении растительности изучаемого района является вертикальная поясность. По классификации типов поясности гор России Восточный Саян и Окинское плоскогорье относятся к Тувинско-Южно-забайкальской группе типов, нивально-гольцово-тундрово-таежно-лесостепно-степному (Саяно-Тувинскому) типу, Окинскому подтипу (Огуреева, 1999). Вследствие большой амплитуды высот здесь представлен широкий спектр поясности. Сухие мелкозлаковые степи развиваются с 1 400 м, переходя далее в пояс горной экспозиционной лесостепи из сочетания травяных лиственничников и горных степей, который поднимается до 1 600 м. Выше развивается узкая полоса таежных лиственничников, с участием травяно-кустарниковых высокогорных субальпийских видов. Выше 1 900-2 000 м представлен высокогорный пояс сложного состава (Холбоева, 2011).

Степная растительность занимает хорошо прогреваемые южные склоны и вместе с лугами в долинах рек составляет основные пастбищные угодья (Безрукова и др., 2022).

2.2.1. Озеро Саган-Нур

Озеро Саган-Нур ($52^{\circ}35'4343''$ с.ш., $100^{\circ}12'5108''$ в.д.) располагается в междуречье реки Сорок и реки Ока, с последней имеет гидрологическую связь, поскольку в реке Ока происходит разгрузка озерных вод (рис. 8). Озеро ледникового происхождения, образовавшееся в процессе дегляциации. Площадь водосборного бассейна озера составляет $8,5 \text{ км}^2$, максимальная глубина – 23 м, с севера на юг озеро простирается на 3,2 км, площадь водной поверхности примерно 1 км^2 , высота расположения озерного зеркала – 1 612 м над уровнем моря (Vladimirov et al., 2019).

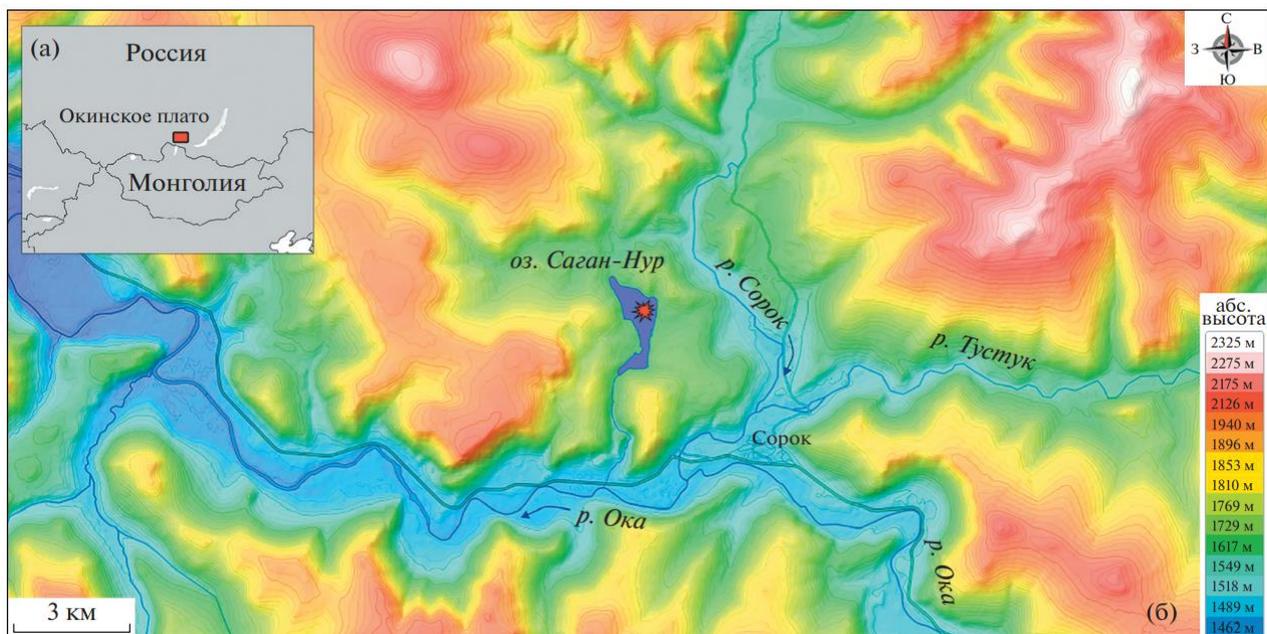


Рисунок 8. Местоположение озера Саган-Нур

А – гипсометрическая схема центральной части плато и местонахождение озера Саган-Нур; Б – красной звездочкой показана точка бурения донных отложений озера (Безрукова и др., 2022)

В водосборном бассейне и на берегах озера Саган-Нур преобладают лиственничные кустарниковые редколесья, долинная лугово-болотная растительность, иногда с елями и лиственницами, лиственничные моховые, лиственничные иногда с сосной сибирской леса и редколесья (Vladimirov et al., 2019). Однако, непосредственно вблизи озера ели или кедровой сосны не наблюдается.

2.2.2. Озеро Ильчир

Ильчирский грабен со всех сторон окружен высокими хребтами (рис. 9), что обуславливает особый тип климатического режима (New et al., 2022). Климат характеризуется средней июльской температурой $+11\text{ }^{\circ}\text{C}$ и средней январской температурой $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Минимальные температуры часто опускаются ниже $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальные летние температуры могут превышать $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура не превышает $-6,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков составляет около 400 мм, из которых только 10 % выпадает в холодное время года с октября по март. Поверхностные воды озера Ильчир могут прогреваться

до +15 °С в июле. С октября по июнь озеро покрыто льдом (Bondarenko et al., 2002).

Озеро располагается на высоте 1 952 м над уровнем моря (51°97'3807" с.ш., 100°99'1317" в.д.)

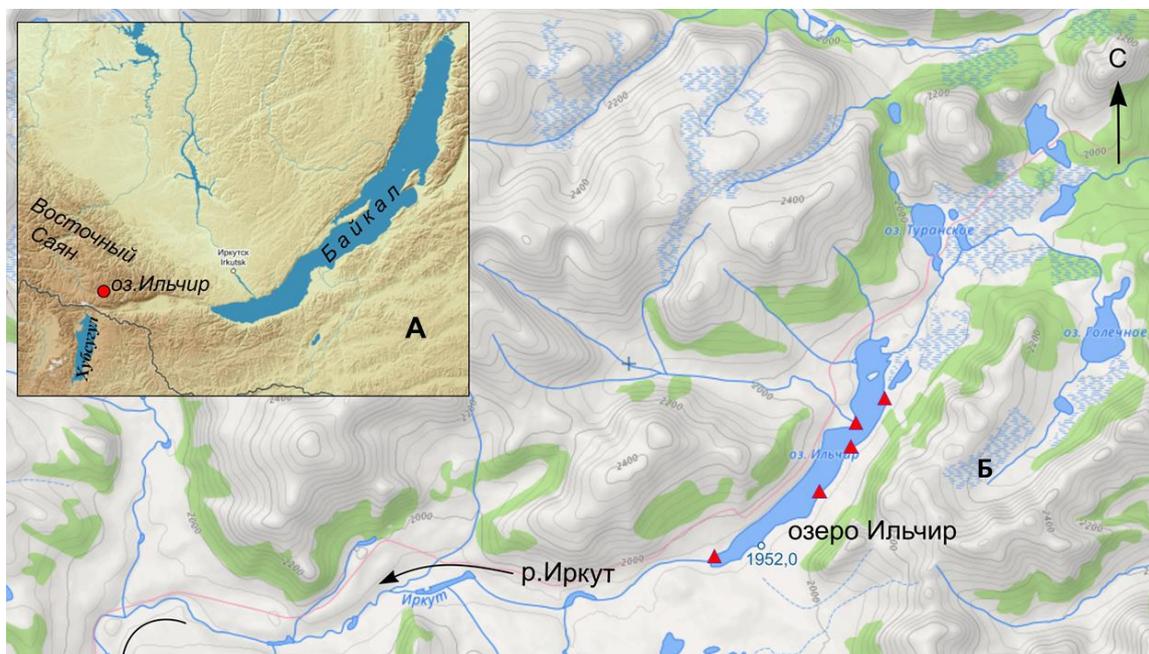


Рисунок 9. Местонахождение озера Ильчир (Волчатова и др., 2021)

А – положение озера в горах Восточного Саяна; Б – котловина озера с впадающими в него безымянными постоянными водотоками; красными треугольниками отмечены точки отбора поверхностных проб в прибрежной полосе озера.

В растительности котловины озера Ильчир преобладают редкие лиственницы с сообществами кустарниковой березки, наземным покровом из лишайников рода кладония (*Cladonia* Hill ex P. Browne) и мхов рода сфагнум (*Sphagnum* L.).

Участки мохово-лишайниковой тундры чередуются с пятнами осоково-злаковых и кобрезиевых *Kobresia myosuroides* (Vill.) Fiori, *Minuartia arctica* (Steven ex Ser.) Graebn., *Carex ledebouriana* C.A. Mey. Ex Trevir. Травяных лугов в понижениях рельефа. На плоских склонах южной экспозиции можно встретить луговины из *Valeriana capitata*, *Trollius asiaticus* L., *Allium schoenoprasum* L.,

Primula nivalis Pall. В прибрежной части озера растут макрофиты, в том числе несколько видов осок и рдест (*Potamogeton* L.) (Maskay et al., 2012).

2.2.3. Озеро Шас-Нур

Озеро Шас-Нур (52°66'5538" с.ш., 99°48'3648" в.д.) получило название благодаря близкому расположению к улусу Шас-Нур в Окинском районе, находясь на юго-западе от улуса, в долине реки Сенца (рис. 10).

Озеро имеет неправильную сложную форму с изрезанными берегами, заболоченными вдоль всей береговой линии. Урез воды располагается на отметке 1 363 метра над уровнем моря. Площадь озера составляет примерно 0,3 км², его глубина составляет не более четырех метров. С севера береговая линия озера имеет сложную конфигурацию, повторяющую неровности субаэрального рельефа морены, а с востока, где оно сообщается через систему пойменных водоемов с руслом реки Сенца, котловина озера моделирована русловыми процессами.

Шас-Нур является экзореинным (сточным) озером, связанным с протекающей по долине рекой Сенцой. Сток осуществляется с восточной стороны озера по системе пойменных водоёмов, соединённых протоками, в реку Сенца. В период летних паводков уровень воды в реке повышается, и сток осуществляется в обратном направлении в Шас-Нур. Вместе с водой из Сенца поступают твёрдые вещества, и озеро является поглотителем твёрдого стока реки, хотя основная часть твёрдого материала оседает в промежуточных между ним и рекой старицах.

Озеро имеет смешанное происхождение. Северная часть чаши водоёма сформирована мореной, берег здесь соответствует неровностям субаэрального моренного рельефа. Восточная часть Шас-Нура значительно преобразована флювиальными процессами реки Сенца, активизировавшимися в результате поднятия её базиса эрозии, обусловленного образованием лавово-подпрудного палеоозера Зун-Ухэргэй (Щетников и др., 2016).



Рисунок 10. А – Местоположение озера Шас-Нур, Б – детальная схема положения озера в долине реки Сенца (построено на базе программы Google Earth, эл. рес.)

Растительность в бассейне озера представляет собой светлохвойный лиственный лес с редким участием березы, располагающийся на склонах подступающей к озеру горной гряды. Древетой разреженный. В прибрежной части озера преобладают лугово-степные травянистые группировки (маревые, полынные) с участием злаковых и споровых (многоножковые, двурядник *Diphasiastrum* Holub) растений. В небольшом количестве присутствует кустарниковая поросль из ивы и ольховника.

2.2.4. Озеро Номто-Нур

Озеро Номто-Нур ($52^{\circ}63'3777''$ с.ш., $99^{\circ}42'7638''$ в.д.) расположено в долине реки Сенца на высоте 1386 м над уровнем моря. Располагаясь в долине реки, оно гидрологически связано с рекой Сенца (рис. 11). Площадь озера Номто-Нур составляет $0,5 \text{ км}^2$, глубина достигает 3,5 м. Чаша озера имеет неправильную форму, берега сильно изрезаны и заболочены. На дне водоёма чётко прослеживается старое русло реки Сенца (Щетников и др., 2016).

Озеро Номто-Нур было образовано в результате поднятия базиса эрозии реки Сенца, обусловленного образованием лавово-подпрудного палеоозера Зун-Ухэргэй. В этот период в долине реки установился застойный режим,

происходило активное заболачивание и заозёривание, река сильно меандрировала.

Озеро является поглотителем твердого стока реки Сенца. Они соединяются протокой, по которой из озера обычно осуществляется сток. В летние паводки, с подъемом уровня воды в реке Сенца, протока начинает функционировать во встречном направлении, наполняя озерную чашу Номто-Нура жидким и твердым речным стоком одновременно. Это подтверждается наличием протяженной клювовидной дельты в месте впадения протоки в озеро (Щетников и др., 2016).

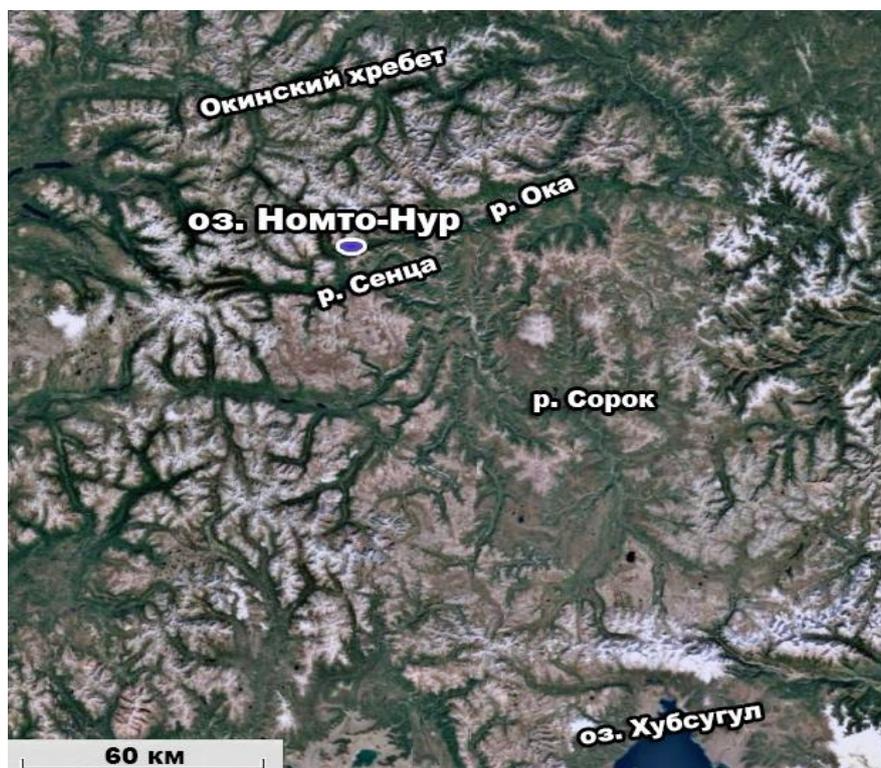


Рисунок 11. Местоположение озера Номто-Нур (построено на базе программы Google Earth, эл. рес.)

Вокруг озера преобладает древесно-кустарниковая растительность, значительные площади занимают разнотравные луга. Среди древесной растительности господствует лиственница, преобладающая и в долине, и на склонах долины реки Сенца.

2.2.5. Долина реки Сенца

Долина реки Сенца (рис. 12) в геоморфологическом плане представляет собой классический трог с элементами ледникового рельефа в виде боковых и конечных морен позднеплейстоценового возраста. Отложения аллювиального,

озерного, гляциального, делювиального и пролювиального генезиса, выполняющие долину реки, представлены суглинками, супесями, песками, галечниками, валунами.

Река Сенца является одним из крупных притоков реки Ока и образована слиянием рек Дунда-Гол и Хойто-Гол. Длина водотока составляет около 65 км, речные воды прорезают Окинское плоскогорье на глубину до 800 м. В нижнем течении, выше поселка Шаснур, река активно меандрирует (Выркин и др., 2012). На большей части долины реки имеет незначительный уклон, что обуславливает незначительное разнообразие условий для существования растительности.

На большей части долины реки Сенца произрастает лиственный лес с незначительной примесью березы и ели. В нижнем течении реки можно встретить и кедровые разнотравные леса паркового типа. Подлесок состоит из зарослей жимолости алтайской и рододендрона золотистого, а в кустарничковом ярусе господствует брусника обыкновенная.

На равнинных участках днища долины и склонах южной экспозиции широко распространены кобрезиево-злаковые степные группировки из кобрезий *Kobresia sibirica* (Turcz.) Boeckeler, *K. simpliciuscula* (Wahlenb.) Mackenz., овсца *Helictotrichon mongolicum* Besser и мелкодерновинно-злаковые комплексы из овсяницы ленской *Festuca lenensis* Drobow, мятлика *Poa botryoides* (Trin. Ex Griseb.) Kom., тонконога *Koeleria cristata* (Ledeb.) Schult. Часто встречаются луговые и лугово-болотные комплексы из лютика *Ranunculus acris* L., овсяница луговой *Festuca pratensis* Huds., осоки черной *Carex nigra* (L.) Reichard, приуроченные к участкам с повышенным увлажнением (Выркин и др., 2012).

На поверхности болота, где был вскрыт разрез торфяных отложений (52°61'209" с.ш., 99°37'299" в.д.), названный нами «Сенца», преобладает травянистая растительность из семейства злаковых, осоковых, присутствуют куртины сфагновых мхов, небольшими группами встречаются верескоцветные кустарнички (Ericales Bercht. & J.Presl). Редкие ивы и единичные кустарниковые березки образуют сильно разреженный кустарниковый ярус. Болото окружено лиственным лесом.

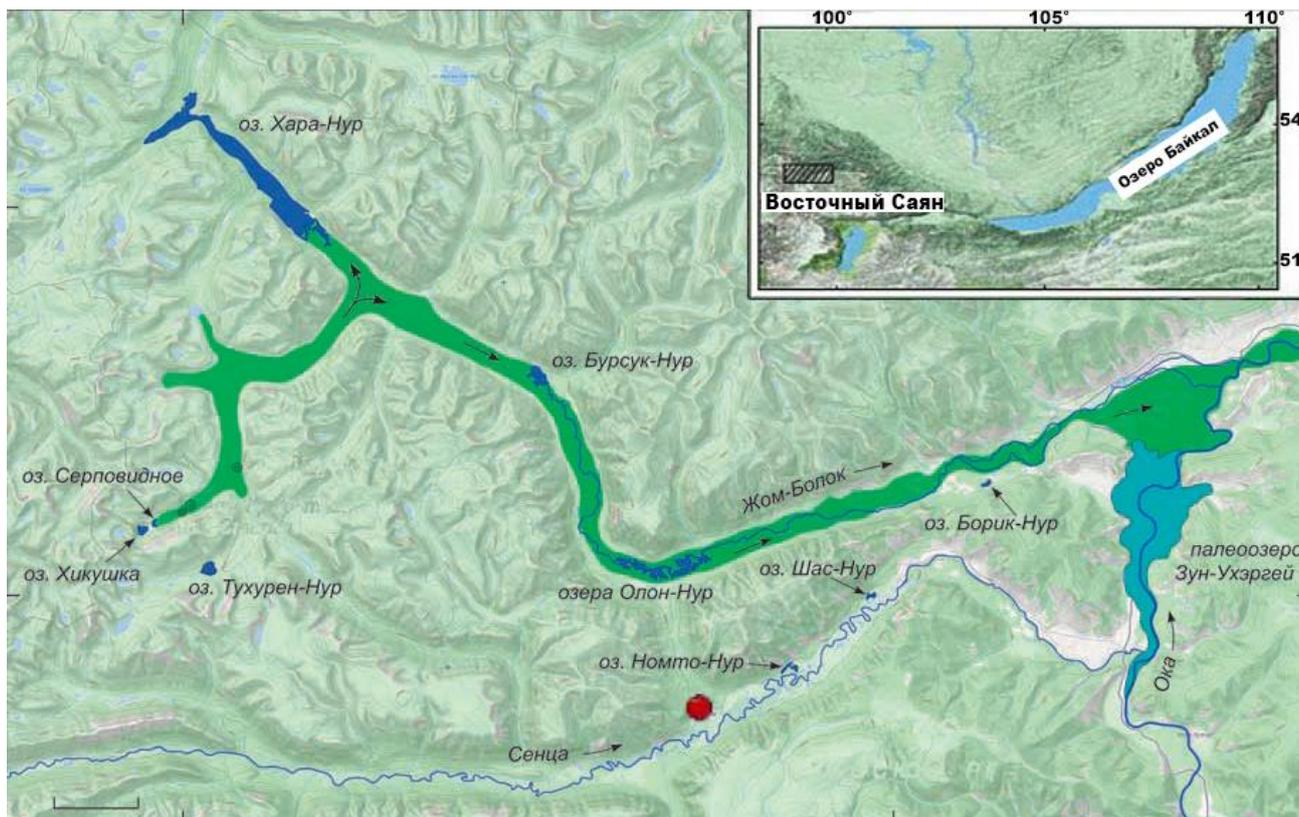


Рисунок 12. Местоположение торфяника "Сенца" отмечено красной точкой (Щетников и др., 2016)

Исходя из приведенных данных физико-географических условий района, можно сделать вывод, что состав растительности высокогорного и среднегорно-таежного поясов Восточного Саяна, где расположены объекты исследования, представлен, главным образом, холодостойкими лиственничными лесами. Сосна обыкновенная находится на удалении около ста километров от исследованной территории, а сосна сибирская изредка встречается в наиболее благоприятных для нее местах обитания. Ель иногда формирует разреженные ассоциации вместе с лиственницей по долинам рек и ручьев. Такой состав растительности горно-таежных поясов Восточного Саяна обусловлен особенностями орографии, климата, почвенного покрова, состава подстилающих пород горных районов.

Обзор происхождения котловин исследованных озер показал их разное происхождение: ледниковое (озера Ильчир, Саган-Нур) и флювиальное (Номто-Нур и Шас-Нур) (Щетников и др., 2016).

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1. Бурение отложений и опробование кернов

При проведении исследований было отобрано пять кернов из разных объектов: донных отложений озер Ильчир, Номто-Нур, Саган-Нур, Шас-Нур; и торфяника в долине реки Сенца.

Керн длиной 187 см был получен из донных отложений озера Саган-Нур в 2020 г. Для целей палинологического анализа был опробован каждый второй сантиметр, что в сумме составило 94 образцов.

Донные отложения озера Ильчир были пробурены в 2013 году, длина керна составила 132 см. Для целей палинологического анализа был опробован каждый второй сантиметр, что в сумме составило 67 образцов.

Керн из донных отложений озера Шас-Нур длиной 189 см был получен в 2013 году. Каждый второй сантиметр керна был отобран для палинологического анализа, что в сумме составило 95 образцов.

Донные отложения озера Номто-Нур были пробурены в 2013 году. Длина полученного керна составила 126 см. Для палинологического анализа донных отложений озера Номто-Нур был взят каждый второй сантиметр керна, таким образом было изучено 64 образца. Магнитная восприимчивость была измерена для каждого см отложений озера с помощью системы магнитной восприимчивости (МВ) MS2 Бартингтон, оснащенной датчиками MS2C70 и MS2K.

Также 2013 году были вскрыты торфяные отложения в верхней части долины реки Сенца. Мощность разреза составила 61 см. Для палинологического анализа использован каждый сантиметр полученного керна, таким образом проанализирован 61 образец.

Бурение донных отложений озер было проведено при помощи гравитационного керноотборного устройства ударно-канатного типа UWITEC (Австрия) с внутренним диаметром ПВХ-лайнера 63 мм. Бурение торфяника в долине реки Сенца проведено буром системы Инсторфа.

Все керны были опробованы в лабораторных условиях Института геохимии СО РАН (г. Иркутск). В целом, методом палинологического анализа изучен 381 образец.

3.2. Отбор поверхностных проб

Были отобраны поверхностные пробы с берегов озер Ильчир, Шас-Нур, Саган-Нур, Номто-Нур и берега реки Сенца были отобраны вручную. Для этого у уреза воды пробиркой объемом 45 мл отбирались прибрежные илы.

Для исследования торфяных отложений ножом срезали поверхность моховых подушек.

Дальнейшую обработку поверхностных проб илов и торфа проводили в лаборатории по обычной методике палинологического анализа.

В целом изучено 28 образцов поверхностных проб.

3.3. Радиоуглеродный метод

Датирование отложений в керне из озера Саган-Нур проведено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН и Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии (США) (Безрукова и др., 2022). Всего для озера Саган-Нур получено 5 дат.

Возраст отложений в керне из озера Ильчир был определен в Познаньской радиоуглеродной лаборатории (Польша) и в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН). Всего получено 5 дат. Дату для отложений на глубине 27-28 см, полученную в ИЯФ СО РАН, следует рассматривать как экспериментальную, так как во время проведения радиоуглеродного анализа пробы лаборатория была не сертифицирована. Однако значение даты логично встраивается между имеющимися датами из сертифицированной лаборатории.

Возраст отложений в керне из озера Шас-Нур определен по массе осадка радиоуглеродным методом для 6 образцов. Датирование проведено в лаборатории г. Познани (Польша) и лаборатории Института ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук.

Возраст отложений в керне из озера Номто-Нур определен в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук (ИЯФ СО РАН). Для донных отложений озера Номто-Нур получена одна дата из основания керна.

Возраст отложений в керне из торфяника в долине реки Сенца определен методом радиоуглеродного датирования в Институте геологии и минералогии СО РАН. Всего для керна получено 2 даты.

В тексте работы все значения возраста приводятся в калиброванном летоисчислении (лет назад до настоящего времени = кал.л.н.). Значения дат и их калиброванные значения приведены в Таблице 3 «УМС ^{14}C даты и их калиброванные значения», представленной в главе 4 «Результаты комплексного исследования отложений озер и торфяника Окинского плато».

При расчете возрастных моделей отложений из озер Ильчир, Шас-Нур, Номто-Нур использовались поправки на резервуарный эффект с использованием "подхода с перехватом" (Hou, D'Andrea, Liu, 2012).

Замедленное достижение радиоуглеродного равновесия в донных отложениях из-за медленного обмена углеродом с атмосферным воздухом и часто повышенным поступлением органического вещества растительного происхождения с берегов приводит, если не учитывать поправок, к кажущемуся искажению возраста, что может удревять / омолаживать отложения (Zhou et al., 2020).

Величина резервуарного эффекта составила 1 800 лет для озера Ильчир, 2 030 лет для озера Номто-Нур и 2 970 лет для озера Шас-Нур.

Для отложений в керне из озера Саган-Нур она оказалась равной 26 годам. Такое значение почти в 2 раза ниже средней скорости осадконакопления в керне (1 см за 46 лет). Поэтому возрастная модель построена с допущением отсутствия резервуарного эффекта.

Для изучения динамики растительности и климата голоцена в России часто используется схема периодизации Блитта-Сернандера, первоначально созданная для Северной Европы и модифицированная для Европейской части России Н.А. Хотинским (1977 и ссылки в этой работе). Схема Блитта-Сернандера включает в

себя 6 периодов – арктический (12 900 кал.л.н.), субарктический (11 700-10 000 кал.л.н.), бореальный (10 000-9 000 кал.л.н.), атлантический (9 000-5 700 кал.л.н.), суббореальный (5 700-2 500 кал.л.н.) и субатлантический (2 500 кал.л.н.-современность). Критерием деления на периоды в данной схеме было сочетание двух климатических параметров – тепла и влажности.

В последствии Н.А.Хотинский (Хотинский, 1977) внес коррективы в данную схему для северной Евразии, сдвинув временные рамки некоторых периодов и предложив нижнюю границу голоцена датировать в 10 700, исключив арктический период. Ранний голоцен (11 700-8 000 кал.л.н.) объединяет субарктический и бореальный периоды, средний голоцен (8 000-4 000 кал.л.н.) соответствует атлантическому и суббореальному периодам, поздний голоцен (4 000 кал.л.н. – настоящее время) охватывает субатлантический.

Приведенные схемы периодизации голоцена вызывали критические замечания у некоторых исследователей, не согласных с выделением, например, двух ксеротермов, однако, как правило, никто не возражал против главной тенденции, выявленной схемой Блитта-Сернандера, в которой показан переход от холодных условий конца последнего оледенения к послеледниковому климатическому оптимуму и последующему похолоданию.

В 2018 году была предложена новая схема деления голоцена: гренландская (the Greenlandian, от 11 700 до 8 200 кал.л.н.), северо-гриппианская (the Northgrippian, от 8 200 до 4 200 кал.л.н.) и мегалайская (the Meghalayan, начало 4 200 кал.л.н.) стадия/время. Подобное разделение голоцена было предложено Международным союзом геологических наук на основе данных Международной комиссии по стратиграфии (IUGS) и принято международным сообществом для описания исследований (Таблица 1).

Новое подразделение голоцена основано на уточнении нижней границы эпохи в ледниковых ядрах Гренландии и спелеотемах пещер Индии. Изменения изотопного состава кислорода – это природное событие и, как правило, кратковременное, хорошо отражающее изменения окружающей среды.

Два таких события были использованы для глобальной корреляции границ гренландского/северо-гриппианского и северо-гриппианского/мегалайского времени (Walker et al., 2018, 2019). Нижняя граница гренландского времени как нижняя граница голоцена, выделена в ледниковом керне NorthGRIP2, пробуренном на центральном ледяном щите Гренландии (75,10° с.ш., 42,32° з.д.). Эта граница соответствует первым признакам потепления климата в конце Позднего Дриаса, датируемым в $11\,703 \pm 99$ кал.л.н. (Walker et al., 2009).

Таблица 1 – Сравнение периодизации голоцена по Блитту-Сернандеру с поправками Хотинского Н.А. и новой схемы разделения голоцена, предложенной Международной комиссией по стратиграфии (IUGS)

| Голоцен | Климатические периоды схемы Блитта-Сернандера | Начало, лет назад (примерно) | Климатические периоды схемы Блитта-Сернандера с поправками Хотинского Н.А. | Начало, лет назад (примерно) | Стадия/время по IUGS | Начало, лет назад (примерно) | | |
|-----------|---|------------------------------|--|------------------------------|----------------------|------------------------------|-------|--------|
| | Голоцен | Субатлантик | 0 | Поздний | 0 | Мегалайское | 0 | |
| 2 500 | | | 4 000 | | | | | 4 200 |
| Суббореал | | 2 500 | | | Средний | | 4 000 | |
| | | 5 700 | 8 000 | | | | | 8 200 |
| Атлантик | | 5 700 | | Ранний | 8 000 | Гренландское | 8 200 | |
| | | 9 000 | 11 700 | | | | | 11 700 |
| Бореал | 9 000 | | | | | | | |
| | 10 000 | | | | | | | |
| Пребореал | 11 000 | | | | | | | |

Нижняя граница северо-гриппианского времени была определена в гренландском ледниковом керне NorthGRIP1 (75,10° с.ш., 42,32° з.д.), как отчетливый сигнал похолодания климата, датируемый в $8\,236 \pm 47$ кал.л.н., который был обусловлен сбросом воды из ледниковых озер Северной Америки в Северную часть Атлантического океана после отступления Лаврентийского ледяного щита.

Нижняя граница мегалайского времени датируется в 4 250 лет назад по изменению изотопного состава кислорода спелеотем в пещере Маумлух (25°15'44" с.ш., 91°42'54" в.д.) в штате Мегалай, Северо-Восточная Индия.

Изотопно-кислородная запись по спелеотемам связывает событием 4 200 кал.л.н. с заметным ослаблением летнего азиатского муссона, длившимся около 200 лет. Считается, что это событие фиксируется во многих регионах мира, особенно в средних и низких широтах, и в целом оно характеризовалось сухими и прохладными климатическими условиями. В северных высокоширотных регионах в этот период ярко выражено похолодание с заметным продвижением ледников (Walker et al., 2018, 2019).

Многие современные исследователи в своих публикациях используют схему подразделения голоцена на ранний, средний и поздний. Возрастные границы этих интервалов соответствуют границам в новом делении, утвержденном Международной комиссией по стратиграфии (11 700, 8 236 и 4 250 кал.л.н.), а выявленные локальные климатические тренды в течение этих периодов, в целом, соответствуют глобальным (Буданцева, 2022). Так как эта схема наиболее соответствует целям исследования и максимально подходит нашим задачам, периодизация голоцена в диссертационной работе приведена на ее основе.

Для высокогорий Восточного Саяна (как и Алтая) сравнение региональных палеогеографических событий с глобальными стратотипами из северо-атлантического региона выглядит уместным, если учесть, что климат юга Сибири формируется под решающим воздействием генерального западного атмосферного переноса из северо-атлантического региона (Wassenburg et al., 2016).

3.4. Палинологический метод

Для экстракции пыльцы и спор в лабораторных условиях образцы естественной влажности подвергались стандартной процедуре обработки (Berglund et al., 1986), этапы которой заключались в следующем: до начала обработки каждый образец объемом в 1,5 г влажного осадка помещали в стеклянный стакан и добавляли несколько капель разбавленной соляной кислоты (HCl) для обнаружения карбоната кальция. Этот этап показал, что образцы из изученных озер не содержат такового, поэтому далее применялась следующая

процедура. Осадок отмывали 2-3-разовым центрифугированием, затем добавляли 10 % гидроксида калия (KOH) и помещали стаканы на 10-15 минут в водяную баню с температурой 80 °С. На этом этапе происходила дезагрегация матрицы осадка и растворение гуминовых кислот. Далее, остывшую смесь растворенного в KOH осадка пропускали через сито с ячейей 220 мкм, при этом пылевые зерна и споры проходили через сито. Суспензия, прошедшая через сито, собиралась в полипропиленовые центрифужные пробирки, промывалась трехкратным центрифугированием на скорости около 3 000 оборотов/минуту на протяжении 3 минут. Затем проходила обработка 40 % плавиковой кислотой (HF) в электрической водяной бане 45 минут – 4 часа при температуре 80 °С в зависимости от того, когда на дне пробирок не останется твердой фракции или ее будет совсем немного. После остывания проводили центрифугирование с добавлением слабого раствора соды до нейтральной реакции лакмуса. Конечный осадок переносился в 5-мл пластиковые пробирки.

Безводный глицерин использовали для хранения образцов и подготовки предметных стекол. Пыльцу и споры идентифицировали при увеличении 400×, 600× и 1 000× с помощью опубликованных определителей пыльцы и атласов (Moore et al., 1991; Куприянова, Алешина, 1978; Бобров и др., 1983).

Перед началом обработки в каждый образец добавлялись таблетки маркирующих спор плауна *Lycopodium* (18 584 зерен в таблетке, номер партии Batchnr.: 010922211) для расчета концентрации пыльцы (Stockmarr, 1971, 1973). Подсчет зерен пыльцы и спор на слайдах проводился до тех пор, пока мы не насчитывали около 300 зерен пыльцы древесных растений и разное количество сопутствующих палиноморф.

Относительное обилие или процентное содержание всех пылевых таксонов рассчитывалось от суммы пыльцы наземной растительности, принятой за 100%. Процентное содержание зерен споровых растений было определено от суммы всех подсчитанных в каждом образце зерен пыльцы и спор. Одновременно в этих же образцах проводилась идентификация и подсчет непылевых палиноморф (створок амёб, устьиц клеток высших растений, спор и микроостатков плодовых тел грибов, клеток и зигоспор водорослей) и

микрочастиц углей. Содержание непыльцевых палиноморф представлено в штуках на слайд, подсчитанных параллельно с относительным обилием пыльцы и спор высших растений. Концентрация устьиц хвойных растений и микрочастиц углей рассчитаны по формуле:

$$C_t = \frac{\left(\frac{T_c}{L_c}\right) \times L_s}{W_{ts}}$$

Где C_t – концентрация угольков/устьиц; $\frac{T_c}{L_c}$ – соотношение угольков/устьиц с подсчитанными в образцах спорами маркировочного ликоподиума; L_s – общее количество спор ликоподиума в маркировочной таблетке, добавленной в общую массу образца; W_{ts} – масса образца (Stockmarr, 1973).

Для удобства отображения данных подсчета концентрации микроуглей и устьиц хвойных растений, на диаграммах они отображены в степени 10^3 . Однако, в тексте значения концентрации устьиц хвойных растений приведены без степени, в фактическом виде, для наглядности динамики их концентрации.

Лес-степь индекс SFI (лесостепной индекс, steppe-forest index) характеризует открытость ландшафта и показывает связь между лесными и степными таксонами, косвенно отражая изменения влажности климата (Evsrigneeva, Cherepanova, 2022). Индекс рассчитан следующим образом:

$$SFI = (Chenopodiaceae + Artemisia) / (Chenopodiaceae + Artemisia + AP),$$

где AP – arboreal plants (древесные растения) (Traverse, 1988).

Соотношение количества зерен древесной пыльцы (AP) с количеством зерен недревесной пыльцы (NAP (non-arboreal plants)), то есть травянистой растительности, также предоставляет дополнительную информацию об открытости ландшафта и динамике распространения древесной растительности на исследуемых территориях (Favre et al., 2008; Aario, 1944; Faegri, Iversen, 1964).

3.5. Метод биомизации

Метод (Prentice, 1996; Williams et al., 1998) основан на том, что каждый определенный в образце пыльцевой таксон соответствует растительному таксону/таксонам, которые, на основании знаний о современной их экологии, жизненных формах и распространении, относят к тому или иному

функциональному типу растительности (ФТР), тогда как совокупность ФТР составляет биом. Основные ФТР и относящиеся к каждому из них пыльцевые таксоны приведены в статье Prentice et al. (1996). Если реконструированные баллы биомов имеют одинаковое значение, то доминирующим считается тот, в который входит меньшее количество ФТР (Prentice et al., 1996; Tarasov et al., 2007, 2009).

Для проведения «биомизации» все таксоны наземной пыльцы, идентифицированные в полученных нами записях, были отнесены к соответствующим биомам с использованием матрицы таксон – функциональный тип растительности – биом, уже примененной для пыльцевых записей из Байкальского региона (Tarasov et al., 2007, 2009; Kobe et al., 2020). Мы используем четыре биома, набравших самые высокие баллы при расчете: "степь", "тайга", "тундра" и "холодный лиственный лес". Расшифровка состава приведенных биомов представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Биомы и составляющие их таксоны

| Название биома | Современные пыльцевые таксоны | Ископаемые пыльцевые таксоны |
|----------------|--|--|
| Тундра | <i>Duschekia fruticosa</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Nanae/Fruticosae</i> , Cyperaceae, Ericales, <i>Vaccinium</i> , Gentianaceae, Poaceae, Polygonaceae, <i>Polygonum bistorta</i> , <i>Rumex</i> , Rosaceae, <i>Salix</i> , Saxifragaceae, <i>Valeriana</i> | <i>Duschekia fruticosa</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Nanae/Fruticosae</i> , Cyperaceae, Ericales, <i>Vaccinium</i> , Gentianaceae, Poaceae, Polygonaceae, <i>Polygonum bistorta</i> , <i>Rumex</i> , Rosaceae, <i>Salix</i> , Saxifragaceae, <i>Valeriana</i> |
| Тайга | <i>Abies</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , Ericales, <i>E. Vaccinium</i> , <i>Larix</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxylon</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon</i> , <i>Salix</i> | <i>Abies</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , Ericales, <i>Juniperus</i> , <i>Larix</i> , <i>Picea</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxylon</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon</i> , <i>Salix</i> |

| | | |
|--|---|--|
| Степь | Apiaceae, <i>Artemisia</i> , Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, <i>Epilobium</i> , Fabaceae, Lamiaceae, Linaceae, Plantago, Poaceae, Polygonaceae, <i>Polygonum bistorta</i> , Ranunculaceae, <i>Pulsatilla</i> , <i>Thalictrum</i> , Rosaceae, Rubiaceae, <i>Rumex</i> , Scrophulariaceae, <i>Pedicularis</i> , <i>Valeriana</i> . | Apiaceae, <i>Artemisia</i> , Asteraceae, Brassicaceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Liliaceae, Linaceae, Onagraceae, Plantaginaceae, Poaceae, Polygonaceae Primulaceae, Ranunculaceae, Rosaceae, Rubiaceae, <i>Valeriana</i> . |
| Холодный лиственный лес | <i>Duschekia fruticosa</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Nanae/Fruticosae</i> , Ericales ind., <i>E. Empetrum</i> , <i>E. Vaccinium</i> , <i>Larix</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxylon</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon</i> , Rosaceae <i>Rosa canina</i> , <i>Salix</i> | <i>Duschekia fruticosa</i> , <i>Juniperus</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Albae</i> , <i>Betula</i> sect. <i>Nanae/Fruticosae</i> , Ericales ind., <i>E. Empetrum</i> , <i>E. Vaccinium</i> , <i>Larix</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Diploxylon</i> , <i>Pinus</i> subgen. <i>Haploxylon</i> , Rosaceae <i>Rosa canina</i> , <i>Salix</i> |
| Состав ФТР для каждого биома основан на работе S. Müller (2010). | | |

К пыльце *Pinus* subgen. *Diploxylon* мы относим пыльцу сосны обыкновенной, а к пыльце подрод *Pinus* subgen. *Haploxylon* – пыльцу сосны сибирской.

Метод биомизации обеспечивает полуколичественную и косвенную информацию о климате (Kobe et al., 2020).

3.6. Определение физических свойств отложений

Определение потери при прокаливании (Loss on Ignition, LOI) широко используется в лабораторных исследованиях донных отложений для определения органической или карбонатной составляющей минерального осадка (Dean, 1974; Bengtsson, Enell, 1986; Heiri et al., 2001; Steuwer et al., 2004). Данным методом был исследован каждый сантиметр керн донных отложений озера Номто-Нур, составив 126 изученных образца.

Биогенный кремнезем ($SiO_{2\text{биоген}}$) образуется в результате жизнедеятельности кремнепанцирных организмов. Часто встречается в виде остатков скелетов диатомовых водорослей, радиолярий, губок и других кремнеземистых организмов. Для озер Восточного Саяна основными продуцирующими биогенный кремнезем организмами являются диатомовые

водоросли. Таким образом, содержание SiO_2 _{биоген} в донных отложениях озер отражает относительное изменение продукции диатомового планктона (Левина, Карабанов, 2007). Определение биогенного кремнезема проведено в соответствии с методикой Mortlock R.A. and Froelich (1989), основанном на обработке растертых проб осадка весом 5-30 мг 2М Na_2CO_3 (5 ч. при 86 °С) и последующей цветной реакции с молибдатом аммония. Для целей исследования был отобран каждый сантиметр керн донных отложений озера Номто-Нур, составив 126 изученных образца.

Плотность массы сухого осадка (Dry Bulk Density, DBD) характеризует свойства материала, включая уплотнение, аэрацию и водоудержание. Рассчитывается по формуле: Плотность сухого осадка (ρ_b , г/см³) = (Вес сухого образца) / (Общий объем образца) (Bezrukova et al., 2004). Для целей исследования был опробован каждый сантиметр полученных донных отложений из озер Саган-Нур (185 образцов), Ильчир (133 образцов), Шас-Нур (188 образцов). В сумме данным методом исследовано 506 образцов.

Метод смер-слайдов (Smear Slide Method) является универсальным способом исследования образцов под микроскопическим увеличением и служит для определения типов осадков и их классификации. Количество образцов, отобранных из керн для целей исследования, зависит от однородности осадка, наличия каких-либо отличий между слоями. Небольшое количество осадка отбирается и помещается на предметное стекло, после чего садок диспергируется каплей воды и распределяется по стеклу тонким слоем. После этого слайд высушивается и исследуется под микроскопическим увеличением. Для каждого мазка идентифицируются минеральные зерна осадка и определяется процентное содержание илов, глины и обломков створок диатомовых водорослей (Rothwell, 1989). Для целей исследования был отобран каждый второй сантиметр донных отложений из озер Саган-Нур (94 образца), Ильчир (67 образца), Шас-Нур (94 образца). В сумме данным методом исследовано 255 образцов.

3.7. Статистические и графические методы

Результаты спорово-пыльцевого анализа, подсчета микрочастиц углей оформлены в виде таблиц Excel. Для расчета относительного обилия (процентного содержания) общего состава пыльцы и спор, а также индивидуальных палиноморф в спектрах, построения спорово-пыльцевых диаграмм использовано программное обеспечение Tilia/Tilia-Graph/TGView. Выделение на диаграмме локальных пыльцевых зон и их последующая корреляция проведено с применением стратиграфически-ограниченного кластерного анализа CONISS (Grimm, 2011).

Для оценки величины возможного резервуарного эффекта выполнена линейная регрессия по значениям ^{14}C возраста в стратиграфическом порядке, используя «метод перехвата» (Hou et al., 2012; Zhang et al., 2012, 2020). ^{14}C значения возраста были откалиброваны с использованием R package (Blaauw et al., 2019) и калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020). Возрастная модель построена с помощью пакета *basin* (Blaauw, 2011) и программного языка R (R Core Team, 2022).

Таким образом, в ходе работы были отобраны керны из донных отложений четырех озер и опробован один разрез торфяных отложений. Проведена физико-химическая подготовка образцов для целей палинологического анализа. С использованием светового микроскопа изучен состав спорово-пыльцевых спектров из озерных и торфяных отложений. В итоге, обобщены результаты спорово-пыльцевого анализа в форме таблиц и спорово-пыльцевых диаграмм.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР И ТОРФЯНИКА ОКИНСКОГО ПЛАТО

4.1. Возраст изученных отложений

Результаты датирования отложений из кернов приведены в Таблице 3.

Таблица 3 – «УМС ^{14}C даты и их калиброванные значения»

| Название объекта | Лаб. номер | Глубина в керне, см | ^{14}C значение возраста, лет | Значение резервуарного эффекта, лет | Калиброванное значение, лет |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| Оз. Ильчир | | | | | |
| | Poz-106390 | 5-6 | 2200 ± 30 | 1970 | 220 ± 60 |
| | BINP_NSU_1420 | 27-28 | 3100 ± 50 | 1970 | 1000 ± 90 |
| | Poz-106392 | 60-61 | 3900 ± 30 | 1970 | 1900 ± 80 |
| | Poz-106393 | 91-92 | 4700 ± 30 | 1970 | 2900 ± 70 |
| | Poz-106394 | 129-130 | 7500 ± 40 | 1970 | 6600 ± 120 |
| Торфяник из долины реки Сенца | | | | | |
| | COAH-9070 | 40.5 | 1000 ± 80 | - | 1000 ± 91 |
| | COAH-9071 | 60.5 | 4200 ± 70 | - | 4700 ± 100 |
| Оз. Номто-Нур | | | | | |
| | Poz-58389 | 127 | 2600 ± 30 | 1920 | 700 ± 20 |
| Оз. Саган-Нур | | | | | |
| | 9370-IGAN _{AMS} | 10-11 | 500 ± 20 | 26 | 600 ± 50 |
| | 9371-IGAN _{AMS} | 43-44 | 2500 ± 25 | 26 | 2600 ± 70 |
| | 9373-IGAN _{AMS} | 110-111 | 6300 ± 30 | 26 | 7200 ± 60 |
| | 9374-IGAN _{AMS} | 160-161 | 7400 ± 30 | 26 | 8200 ± 100 |
| | 9375-IGAN _{AMS} | 184-185 | 7700 ± 30 | 26 | 8800 ± 110 |
| Оз. Шас-Нур | | | | | |
| | BINP_NSU_1421 | 4 | 2300 ± 60 | 2320 | 2 ± 60 |
| | BINP_NSU_1422 | 30 | 2300 ± 73 | 2320 | 130 ± 70 |
| | BINP_NSU_1423 | 60 | 2400 ± 54 | 2320 | 270 ± 50 |
| | BINP_NSU_1424 | 115 | 3100 ± 66 | 2320 | 700 ± 70 |

Продолжение таблицы 3

| Название объекта | Лаб. номер | Глубина в керне, см | ¹⁴ C значение возраста, лет | Значение резервуарного эффекта, лет | Калиброванное значение, лет |
|------------------|---------------|---------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|
| | BINP_NSU_1425 | 145 | 3416 ± 56 | 2320 | 1101 ± 56 |
| | Poz-58389 | 188 | 5245 ± 35 | 2320 | 3043 ± 35 |

Индекс Poz – датирование проведено в г. Познань; Индекс BINP_NSU_1420 – датирование проведено в г. Новосибирске; Индекс IGAN_{AMS} – датирование проведено в г. Москве.

Возрастные модели для отложений озер Ильчир, Номто-Нур, Саган-Нур, Шас-Нур и торфяника Сенца опубликованы в статьях Безрукова и др. (2022) и Волчатова и др. (2021, 2024) и приведены на рисунке 13.

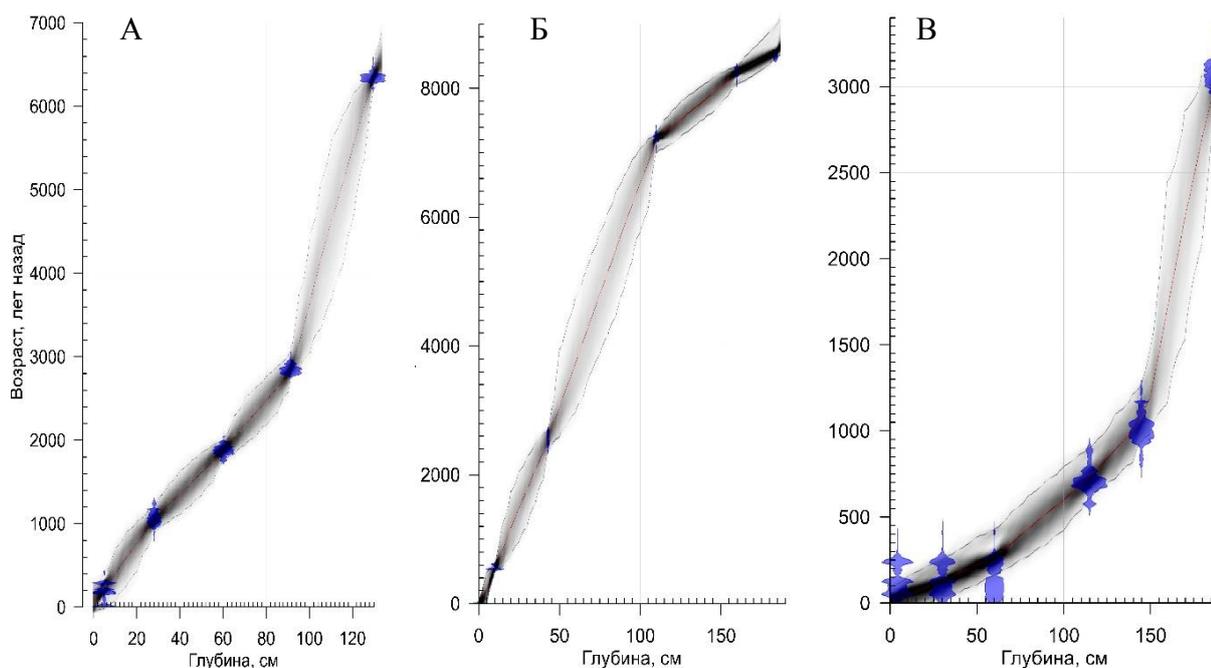


Рисунок 13. Модели глубина-возраст для отложений из озер Ильчир (А), Саган-Нур (Б) и Шас-Нур (В)

Значки синего цвета соответствуют датированным горизонтам; серая заливка – 95% доверительный интервал. Красная пунктирная линия внутри серой заливки соответствует «лучшей» модели, основанной на средневзвешенном возрасте для каждого см в керне.

Для озера Номто-Нур построение графика возрастной модели не представляется возможным из-за наличия единственной датировки в основании

керна. Поэтому возраст каждого изученного образца из керна озера Номто-Нур рассчитан исходя из среднего значения скорости аккумуляции отложений, между условно нулевым значением возраста верха керна и имеющейся датой из основания.

В торфяных отложениях из долины реки Сенца был обнаружен перерыв в осадконакоплении, что ограничивает возможность расчета и построения надежной возрастной модели.

4.2. Особенности состава субрецентных спорово-пыльцевых спектров изученных объектов

4.2.1. Озеро Саган-Нур

Современная растительность бассейна озера Саган-Нур в настоящее время представлена лиственничным лесом с редкой примесью ели и березы. В подлеске ольховниково-березовый кустарниковый ярус, болотные и степные травянистые группировки.

Состав спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб, отобранных из озерного ила у уреза воды в озере Саган-Нур, приведен на рисунке 14. В описании спектров пыльцы и спор приводятся средние значения относительного обилия пыльца и спор.

Одновременно в этих же препаратах проводился и подсчет количества частиц угля, которые позволяют косвенно судить о возникновении или отсутствии пожарных явлений в исследуемом регионе/районе. При этом частота пожарных явлений, их интенсивность, близость к береговой линии озера не рассчитывалась, потому что при анализе не применялась специальная методика выделения микрочастиц углей, а подсчитывалось только их количество на пыльцевых слайдах. Такая практика является обычной в палеогеографических исследованиях для получения дополнительной информации (Conedera et al., 2009).

Также на пыльцевых слайдах были определены устьица хвойных древесных растений, учет которых является полезным для реконструкции истории растительности (MacDonald, 2002). Устьица или stomаты хвойных

деревьев указывают на близость продуцирующих их деревьев к береговой линии озера и играют важную роль в изучении состава растительности и восстановлении миграций границ древесной растительности в горных районах (Pisaric et al., 2001).

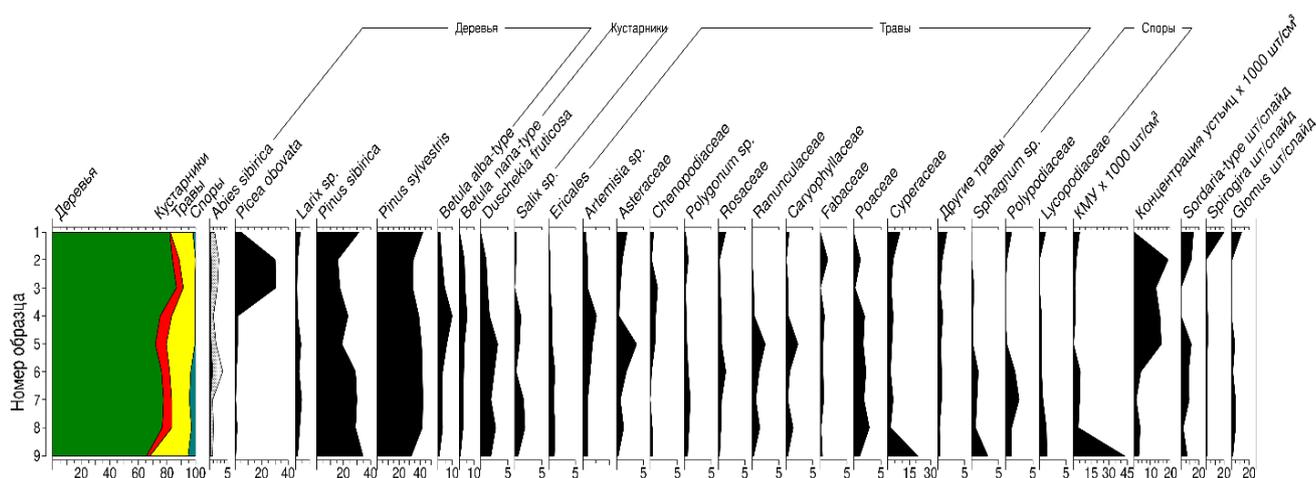


Рисунок 14. Состав спорово-пыльцевых спектров из ила прибрежной зоны озера Саган-Нур.

В группе общего состава СПС зеленым цветом выделена пыльца древесных растений, красным – кустарников, желтым – травянистой растительности, и темно-бирюзовым – споровых растений.

На спорово-пыльцевой диаграмме обилие пыльцы древесных растений составляет 77,2 %, отражая их доминирующую роль в составе растительности.

Максимальные значения характерны для пыльцы сосны обыкновенной (38,5 %). Ей сопутствует пыльца сосны сибирской, составляя 25,5 %. Однако в настоящее время ни в котловине, ни на побережье озера сосны не встречаются.

Известно, что поверхностные СПС открытых ландшафтов, таких как лесотундра, тундра, степь содержат пыльцевые зерна из вне-региональных источников (Serrà et al., 2004). Особенно много в СПС из открытых ландшафтов пыльцы ветроопыляемых древесных растений, таких как сосна сибирская, обыкновенная и береза древовидная. Пыльца этих пород благодаря наличию воздушных мешков у сосен и малому размеру у березы обеспечивает им способность разлетаться на расстояние до нескольких сотен километров от

продуцирующего пыльцу дерева, что обуславливает ее встречаемость на удаленных от деревьев этих пород территориях (Безрукова, 1999).

Очень крупная пыльца пихты и ели, напротив, не разносится на значительные расстояния, и большая ее часть оседает у стены продуцирующих их древостоев (Bezrukova et al., 2005; Liu et al., 1999; Pidek et al., 2013).

В составе СПС из поверхностных проб, которые были получены из верхнего слоя моховых подушек, найденных и опробованных внутри частного локального островка ели среди лиственничного леса на юго-восточном побережье озера, значение еловой пыльцы достигает 30 %. В пробах, вблизи которых ель не росла, обилие ее пыльцы совсем незначительно, подтверждая имеющиеся выводы о слабом распространении пыльцы ели в пределах горно-лесных и подгорно-равнинных ландшафтов юга Сибири (Bezrukova et al., 2005).

В настоящее время древесная растительность в котловине и бассейне озера Саган-Нур представлена лиственницей. Ель и береза встречаются в виде редкой примеси. Такой состав современной растительности нашел адекватное отражение в поверхностных СПС, в которых пыльца лиственницы составляет 2,6 %, ели – 8,3 % и 3,8 % пыльца березы (рис. 14). Кроме того, присутствие в спектрах поверхностных отложений устьиц лиственницы также характеризует ее присутствие вблизи береговой линии озера. Пыльца сосен рассматривается нами как заносная и как показатель региональной растительности средне- и низкогорно-таежного поясов Восточного Саяна. Она поступает в озерные отложения с ветровым и водным переносом с окружающих территорий.

Также в составе пыльцы древесных в спектрах отложений у уреза воды в озере встречается пихта, однако для нее характерны низкие значения: 0,3 %. Обычно пыльца этой породы оседает близко к продуцирующим ее деревьям (Pidek et al., 2013), исходя из чего ее низкое обилие в субрецентных спектрах указывает на ее заносный характер.

В связи с обилием в изученных спектрах заносных пыльцевых зерен сосны создается представление о господствующей роли лесной растительности в котловине озера. Фактическая доля древесной растительности в котловине озера

гораздо ниже, чем отражено в СПС, тогда как доля трав и кустарников, характеризующих локальную растительность, выше отраженной в спектрах.

В тексте и на диаграммах значения приведены так, как они подсчитаны при стандартной обработке результатов спорово-пыльцевого анализа.

Доля кустарниковой растительности в поверхностных спектрах составляет 5,1 % и представлена, в основном, пылью ольховника, в меньшей степени: кустарниковой березкой и ивами.

Среднее значение пыльцы трав составляет около 15,5 %. В основном, это пыльца осоковых (5,5 %) и полыни (2,4 %). Также выделяются астровые (1,3 %) и злаковые (1,5 %). Присутствует пыльца бобовых (Fabaceae Lindl.), гвоздичных (Caryophyllaceae Juss.), лютиковых, розоцветных (Rosaceae Juss.), гречишных (Polygonaceae Juss.), маревых и верескоцветных, их обилие составляет 0,5-0,7 %. В колонку "Другие травы" отнесены таксоны, содержание которых в образцах имеет среднее значение ниже 0,5 %.

Таким образом, таксономический состав и процентное соотношение СПС с учетом особенностей транспортировки дальнезаносной пыльцы сосен, в целом, адекватно отражают современный характер растительности в котловине озера Саган-Нур и могут служить основой для интерпретации ископаемых спектров из донных отложений этого озера.

4.2.2. Озеро Ильчир

Для озера Ильчир было отобрано пять поверхностных проб. Пробы были получены из озерного ила у уреза воды в озере. Состав спорово-пыльцевых спектров (СПС) поверхностных проб приведен на рисунке 15.

Известно, что пыльца лиственницы слабо представлена в поверхностных пыльцевых спектрах (Brubaker et al., 2005; Lisitsyna, Giesecke, Hicks, 2011; Klemm et al., 2013).

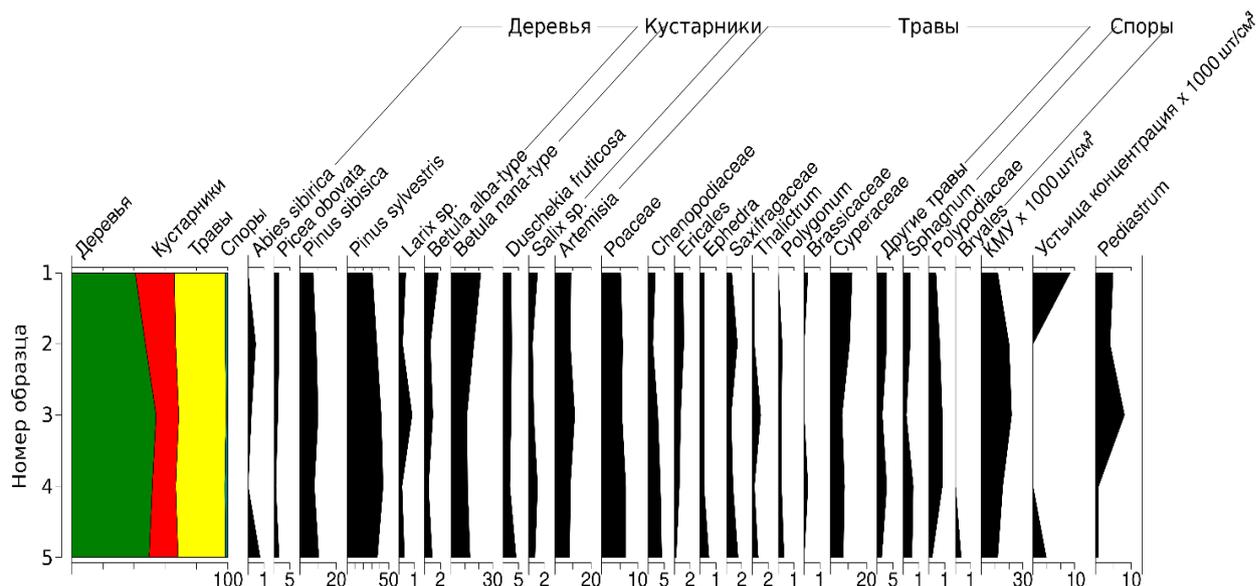


Рисунок 15. Состав спорово-пыльцевых спектров из ила у уреза воды в озере Ильчир.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

В современных СПС значение обилия пыльцы лиственницы составляет 4 %, формируя локальный компонент пылевого дождя. Это значение мы принимаем за пороговое, указывающее на ее произрастание в котловине озера Ильчир в виде островков или лент по склонам котловины, как в настоящее время. Присутствие в поверхностных отложениях устьиц лиственницы также характеризует произрастание лиственницы вблизи береговой линии озера.

В составе современной растительности вокруг озера Ильчир пихта и ель не произрастают. В СПС современных отложений значение пыльцы пихты составляет 0,3 %, а ели – 1,3 %. Следовательно, в СПС района исследования эта пыльца является заносным компонентом спектров, а эти значения связаны с разреженной локальной растительностью и отражают региональный компонент пылевого дождя.

Несмотря на то, что в исследованных образцах представлена пыльца сосны сибирской и обыкновенной, а также березы древовидной, в котловине озера Ильчир в настоящее время этих древесных нет. Следовательно, пыльца обеих сосен и березы также может быть отнесена к заносному компоненту СПС,

несмотря на то, что в спектрах поверхностных образцов значения пыльцы этих древесных составляют 26,5 %, 35,3 % и 8 %, соответственно (рис. 15).

Пыльца кустарниковой березы составляет 15,2 %, ольховника – 3 %, ивы – 0,8 %.

Среди пыльцы травянистой растительности преобладает пыльца полыни (9 %), злаковых (6 %), осоковых (8,7 %), маревых (3 %). Обилие спор представлено крайне слабо, в основном сфагнумом (0,5 %) и папоротниками (0,6 %).

Таким образом, значения обилия в современных СПС пыльцы большей части кустарниковых и травянистых таксонов, в общем, верно отражает современное распространение этих растений на склонах котловины озера Ильчир.

4.2.3. Озеро Шас-Нур

Пять образцов поверхностных проб, отобранных из озерного ила у уреза воды в озере Шас-Нур, содержат пыльцу и споры растений, произрастающих на территории котловины озера в настоящее время. Состав спорово-пыльцевых спектров (СПС) поверхностных проб приведен на рисунке 16.

Пыльца древесных растений доминирует в составе СПС (около 73,5 %) и представлена, в основном, пылью сосны обыкновенной и сосны сибирской (39,8 % и 28,3 % соответственно), которые в настоящее время не произрастают в составе растительности этой территории. Также, как и для других озер, представленных в работе, мы считаем, что пыльца данных таксонов привнесена в отложения ветровыми потоками из нижележащих поясов растительности. Являясь заносной, пыльца обоих видов сосен отражает региональный характер.

То же относится к пыльце березы, которая не произрастает на побережье озера Шас-Нур.

На побережье озера Шас-Нур и на склонах окружающих его гор преобладает лиственничный лес. Обилие пыльцы лиственницы в составе современных СПС около 3,1 %, пыльца ели не превышает 1,4 %. Найденные в

отложениях устьяца лиственницы подтверждают ее произрастание вблизи водного зеркала озера.

Подлесок в лиственничном лесу сформирован кустарниковой березкой, ольховником и ивой.

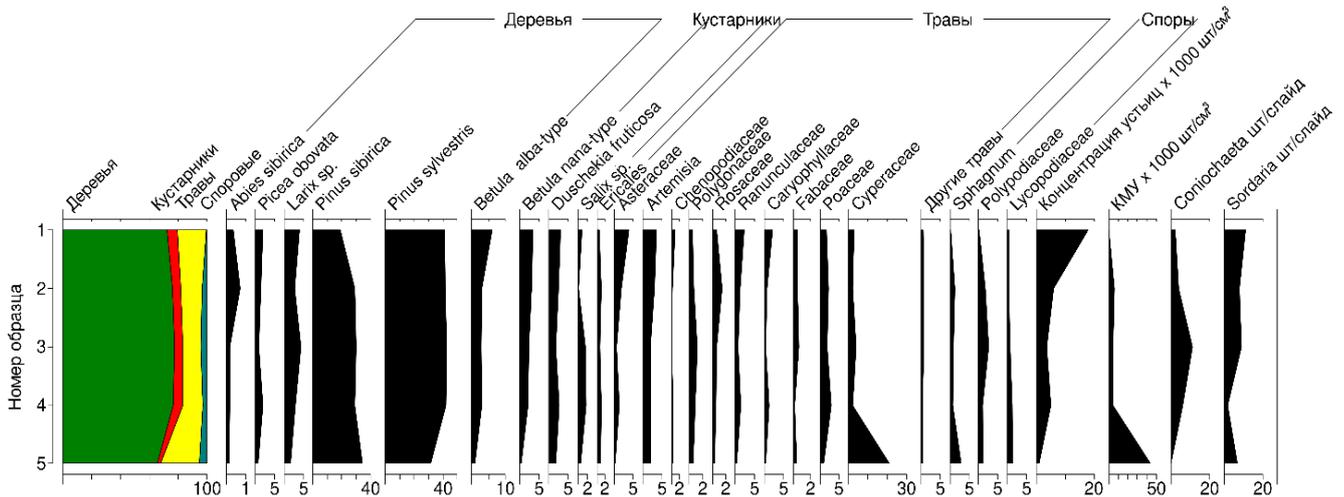


Рисунок 16. Состав спорово-пыльцевых спектров из ила у уреза воды в озере Шас-Нур.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

Травянистая растительность в спектрах представлена лугово-степными таксонами с преобладанием пыльцы полыни (2,4 %), астровых (1,6 %), злаковых (1,9 %) и осоковых (6,3 %). Споровые растения представлены в небольшом количестве, в основном такими таксонами, как сфагновый мох, плауновые, папоротники.

В поверхностных пробах также встречаются тела копрофитных грибов рода Сордария (*Sordaria* Ces. & De Not.) и рода *Coniochaeta* sp.

Исходя из данных спорово-пыльцевого анализа поверхностных проб иловых отложения озера Шас-Нур и состава растительности вблизи озера, можно сделать вывод, что значения обилия в современных СПС пыльцы большей части кустарниковых и травянистых таксонов, в общем, верно отражают состав современной растительности в котловине озера Шас-Нур.

4.2.4. Озеро Номто-Нур

Пять образцов поверхностных проб, отобранных из озерного ила у уреза воды в озере Номто-Нур, содержат пыльцу и споры современной растительности в котловине озера. Состав спорово-пыльцевых спектров (СПС) поверхностных проб приведен на рисунке 17.

В среднем обилие пыльцы древесных составляет около 78 %, постоянно доминируя. Максимальное обилие приходится на пыльцу сосны сибирской и обыкновенной (25 и 41,7 %, соответственно), однако в котловине озера Номто-Нур в настоящее время этих древесных таксонов нет, из чего мы делаем вывод, что это показатель региональной, а не локальной растительности.

Единичная пыльца пихты встречается в СПС крайне редко (0,57 %), что также указывает на заносный характер ее пыльцевых зерен.

Количество пыльцы березы древовидной, отличающейся обильным пылением и способностью к дальнему переносу, в образцах невелико (2,4 %). Это приводит к выводу, что пыльца березы для территории у берега озера Номто-Нур является заносной и формирует региональный компонент спектра.

Таким образом, пыльца ели (6,6 %) и лиственницы (3 %) в составе СПС поверхностных проб илов озера Номто-Нур характеризует локальную лесную растительность в его котловине. Присутствие в поверхностных отложениях устьиц лиственницы также предполагает ее произрастание вблизи береговой линии озера.

Кустарниковый ярус в СПС представлен слабо, в среднем около 5 % от общей суммы пыльцы, в основном такими таксонами, как ива, ольховник и березка.

Травянистая растительность широко распространена по берегам озера Номто-Нур, хотя в общем составе СПС отражена умеренно, около 11,8 %.

В составе травянистой группы СПС отмечена, в основном, пыльца представителей лугово-степных группировок, существенную долю в которых занимает полынь, злаковые, осоковые, астровые. Споры представлены мхами и папоротниками.

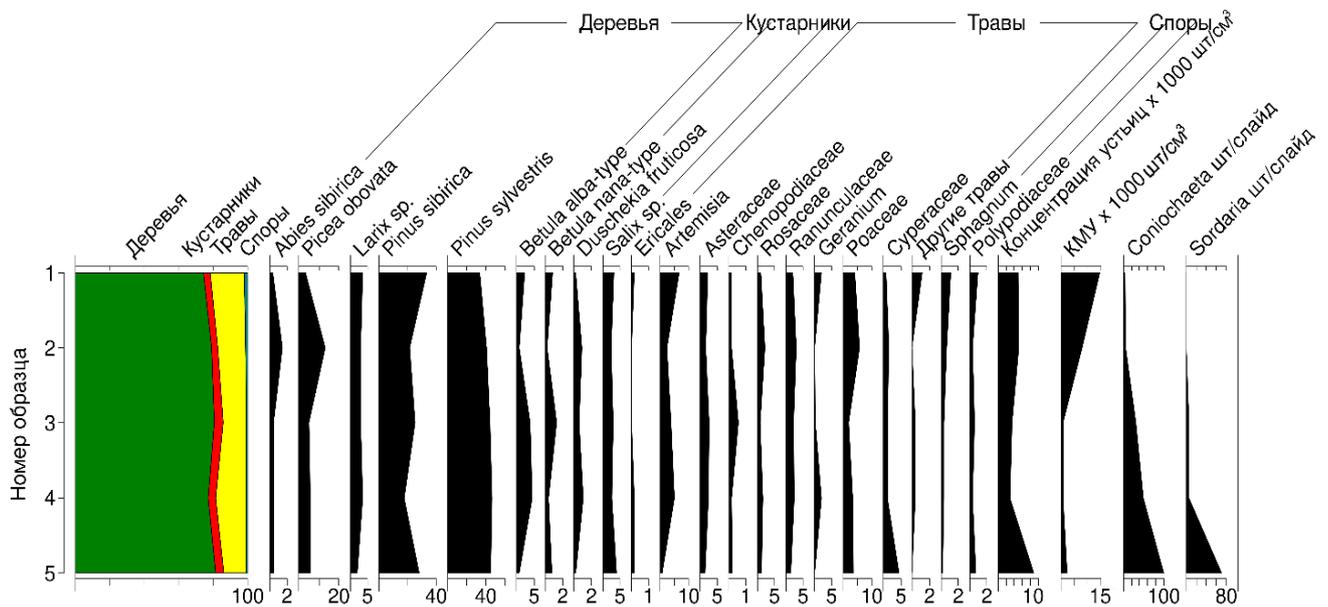


Рисунок 17. Состав спорово-пыльцевых спектров из ила у уреза воды в озере Номто-Нур.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

Значения обилия в современных СПС пыльцы большей части кустарниковых и травянистых таксонов, в общем, верно отражает современное распространение этих растений в котловине озера Номто-Нур.

4.2.5. Долина реки Сенца

Четыре образца поверхностных проб, отобранных из торфяных отложений из поймы реки Сенца, содержат пыльцу и споры современной растительности этого района. Состав спорово-пыльцевых спектров (СПС) поверхностных проб приведен на рисунке 18.

Значительная часть спектров представлена пыльцой древесных растений, составляя 82 % от суммы подсчитанных пыльцевых зерен и спор. Доля пыльцы трав составляет 13 %, тогда как пыльца кустарников отражена незначительно – 4,5 % Споры растений практически не нашли отражения в поверхностных спектрах, составляя всего 0,9 %

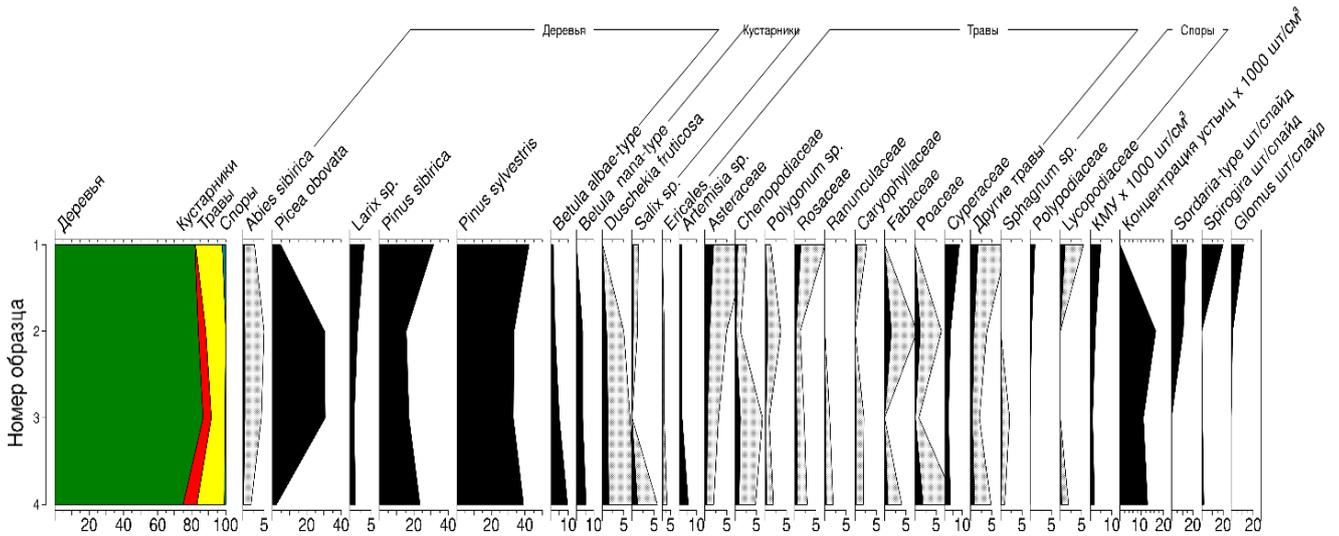


Рисунок 18. Состав спорово-пыльцевых спектров торфяника долины реки Сенца.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

В составе пыльцы древесных растений преобладает пыльца сосны сибирской (22 %) и сосны обыкновенной (36,9 %).

На склонах хребтов долины и в пойме реки в районе расположения торфяника сосна обыкновенная и сосна сибирская не произрастают, что приводит к выводу о заносности пыльцы этих деревьев. Аналогичное предположение относится и к пыльце ели. Однако, на удалении около 200 метров от торфяника в лиственничном лесу ель присутствует в виде редкой примеси. Образцы из мха и торфа были, в том числе, отобраны непосредственно под пологом еловых деревьев, с чем и связано высокое обилие пыльцы этого вида в современных СПС (17 %) (рис. 18, образцы 2-3).

Пыльца лиственницы, господствующей среди древесной растительности, отражена в спектрах слабо, составляя в среднем около 2 %. Это в очередной раз подтверждает осаждение и захоронение пыльцы этой породы непосредственно вблизи ее древостоя.

Подлесок в лиственничных лесах долины реки Сенца в районе расположения торфяника состоит, в основном, из карликовой березки, ольхи и ивы.

Берега реки Сенца и поверхность самого торфяника покрыты травянистой растительностью, представленной, в основном, болотными и луговыми травами. В СПС поверхностных проб торфяных отложений наиболее обильно выражена пыльца осоковых (4,5 %). Ей сопутствует пыльца полыни (2,5 %) и астровых (1 %). Кроме них, в составе современной растительности травянистого яруса присутствуют также гречишные, маревые, розоцветные, лютиковые, камнеломковые, бобовые и злаковые. Значения их процентного содержания в поверхностных образцах не превышают 1 % в среднем для каждого таксона.

Значения концентрации микроуглей в торфяных отложениях низкие, $3 \cdot 10^3$ шт/см³, в то время как концентрация устьиц хвойных растений имеет высокие значения, 15 123 шт/см³. Такое содержание угольков и устьиц указывает на отсутствие что в настоящее время в долине реки Сенца масштабных пожаров.

В целом, состав субрецентных СПС с торфяника в долине реки Сенца, в целом, адекватно отражают характер современного растительного покрова исследуемой территории и могут быть использованы как основа для реконструкции растительности голоцена.

Впервые полученные результаты состава субрецентных спорово-пыльцевых спектров из 28-ми образцов из верхнего слоя разногенетических отложений в бассейнах изученных озер и с поверхности торфяника показали, что:

— представленность пыльцы абсолютно доминирующей в регионе лиственницы сибирской в поверхностных спектрах изменялась в зависимости от открытости ландшафта и присутствия других видов деревьев. В местах, где лиственница является единственным доминирующим деревом, а тип растительности – лесной, доля ее пыльцы составляла 4-5 %. В высокогорном поясе (бассейн оз. Ильчир), где тип растительности лесотундровый, доля пыльцы лиственницы не превышала 1 %;

— максимальные значения процентного содержания пыльцы ели сибирской (20-40 %), встречающейся небольшими участками в долинах рек и ручьев, характерны только для спектров из образцов, взятых под пологом еловых

группировок. Уже на расстоянии в несколько сотен метров от еловых насаждений доля ее пыльцы снижалась до 3-5 %;

— пыльца сосны сибирской в составе субрецентных спектров составляет 8-10% в образцах из высокогорного пояса растительности (оз. Ильчир) и возрастает до 20-40% в спектрах из лиственничных лесов среднегорного пояса, несмотря на ее отсутствие в составе современной растительности изученного региона;

— пыльца сосны обыкновенной в составе субрецентных спектров составляет 30-45 % в образцах из всех изученных спектров, несмотря на ее отсутствие в составе современной растительности изученного региона;

— пыльца господствующих в растительном покрове злаковых недостаточно представлена, составляя только 2-5 % в субрецентных пыльцевых спектрах из лесного пояса и достигая доли в 6-9 % в спектрах из лесотундрового пояса растительности.

— пыльца господствующих в растительном покрове заболоченных обитаний представителей семейства осоковых также представлена недостаточно, составляя только 4-9% в субрецентных пыльцевых спектрах.

Полученные выводы также обуславливают наше первое защищаемое положение о том, что доля пыльцы лиственницы в 4-5 % в поверхностных спектрах Окинского плато является показателем лесного типа растительности с господством лиственницы, а содержание пыльцы сосны обыкновенной выше 50% и сосны сибирской выше 40% является показателем их редкой примеси в составе субрегиональной/локальной растительности.

4.3. Литологическое строение вскрытых донных отложений озер и торфяника долины реки

Результаты изучения литологического строения отложений в керне из оз. Саган-Нур методом смер-слайдов (рис. 19) показали, что отложения представлены, главным образом, глинистой фракцией (62 %, здесь и далее приведены средние значения) и илистой фракцией (21 %). Доля песка составляет 1 % , а обломков створок диатомовых водорослей – 15 %.

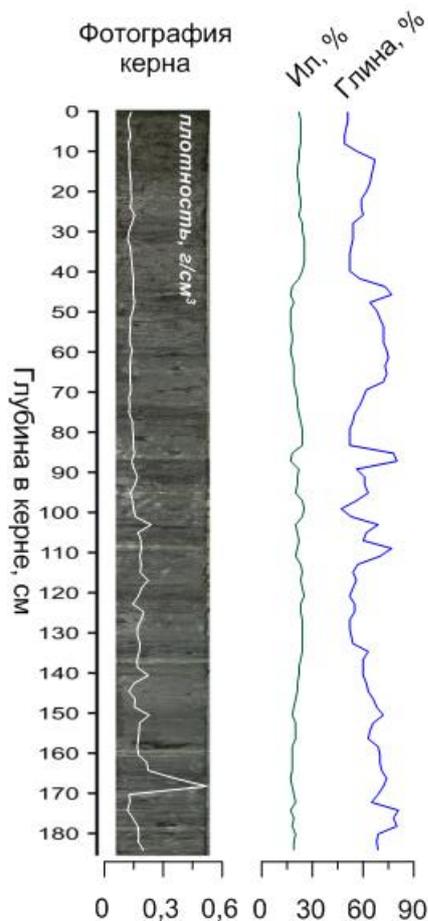


Рисунок 19. Фотография керна из донных отложений оз Саган-Нур и преобладающие в отложениях минеральные фракции. На фотографию керна нанесена кривая изменения плотности отложений, определенная как сухая объемная плотность в г/см^3 (dry bulk density – данные представлены О.В. Левиной). Результаты изучения смер-слайдов предоставлены Л.Л. Ткаченко.

Результаты изучения литологического строения отложений в керне из оз. Ильчир методом смер-слайдов (рис. 20) показали, что отложения представлены, главным образом, глинистой фракцией (64 %) и илистой фракцией (27 %). Доля песка составляет 3 %, а обломков створок диатомовых водорослей – 6 %.

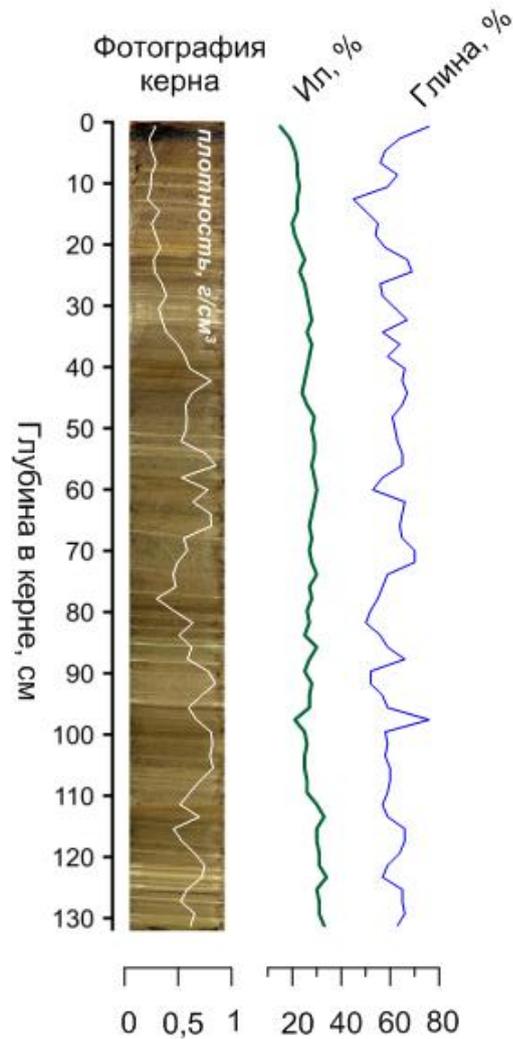


Рисунок 20. Фотография керна из донных отложений оз Ильчир и преобладающие в отложениях минеральные фракции. На фотографию керна нанесена кривая изменения плотности отложений, определенная как сухая объемная плотность в г/см^3 (dry bulk density – данные представлены О.В. Левиной). Результаты изучения смер-слайдов предоставлены Л.Л. Ткаченко.

Результаты изучения литологического строения отложений в керне из оз. Шас-Нур методом смер-слайдов (рис. 21) показали, что отложения представлены, главным образом, глинистой фракцией (46 %) и илистой фракцией (31 %). Доля песка составляет 1 %, а обломков створок диатомовых водорослей – 22 %.

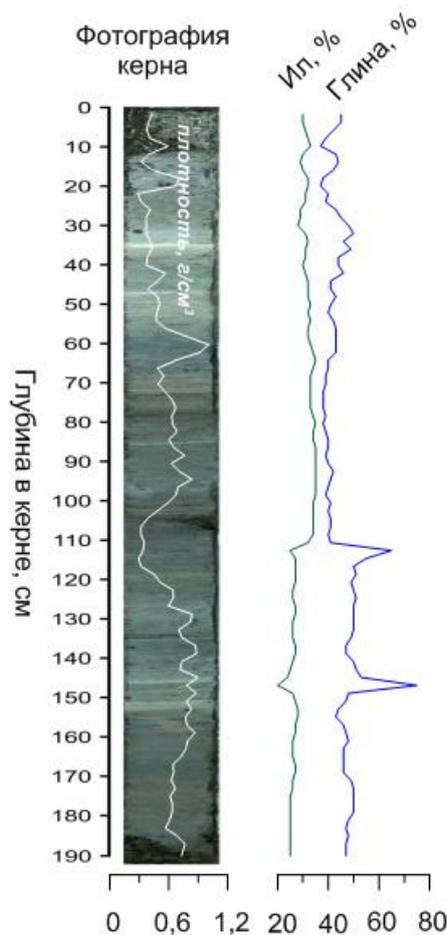


Рисунок 21. Фотография керна из донных отложений оз. Шас-Нур и преобладающие в отложениях минеральные фракции. На фотографию керна нанесена кривая изменения плотности отложений, определенная как сухая объемная плотность в г/см³ (данные представлены О.В. Левиной). Результаты изучения смер-слайдов предоставлены Л.Л. Ткаченко.

Для керна, полученного из донных отложений оз. **Номто-Нур**, не проводили исследования методом смер-слайдов. Вместо этого керн был исследован на потерю при прокаливании (Loss on Ignition, LOI) и присутствие биогенного кремнезема (BiSi) (рис. 22).

Значения биогенного кремнезема в керне составляет 1 %, характеризую отложения как супесчаные, вероятно подверженные активным процессам вымывания элементов. Значения индекса LOI составляет 14 %, что указывает на присутствие органического вещества в донных отложениях и умеренное насыщение углекислым газом. Зеленоватый оттенок полученного керна служит признаком присутствия в отложениях илла.

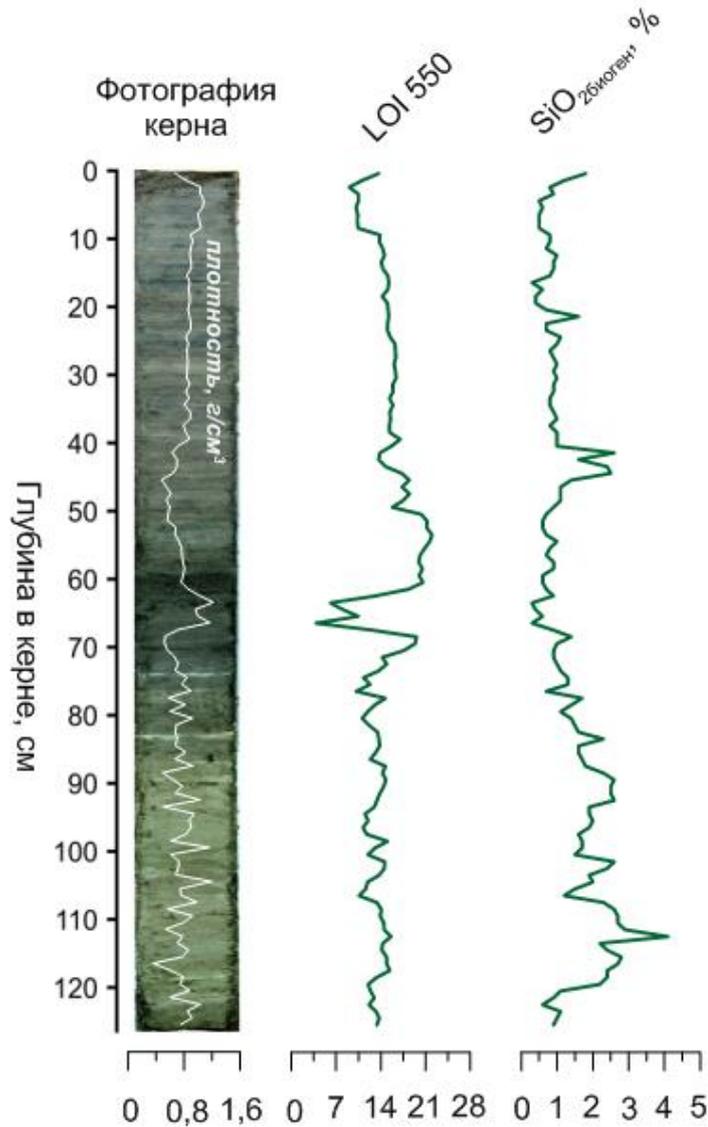


Рисунок 22. Фотография керна из донных отложений оз. Номто-Нур. На фотографию керна нанесена кривая изменения плотности отложений, определенная как сухая объемная плотность в г/см³ (данные представлены О.В. Левиной); представлены график измерения потери при прокаливании (LOI 550) (данные предоставлены А. А. Амосовой) и биогенного кремнезема (SiO₂ биоген) (данные представлены О.В. Левиной).

Керн, полученный из долины реки Сенца (рис. 23) в ее прибрежной части, по всему разрезу представлен торфяными массами. Торф имеет темно-коричневый оттенок и относительно однородную массу с волокнистыми включениями корней и стеблей трав, что указывает на высокую степень разложения отложений. По типу растительных остатков, насыщения влагой и

месту расположения отложения можно отнести к древесно-травянистой группе верхового торфа.



Рисунок 23. Фотография торфяного разреза в долине реки Сенца после вскрытия отложений и изъятия керна.

4.4. Результаты спорово-пыльцевого анализа донных и торфяных отложений голоцена

4.4.1. Озеро Саган-Нур

С помощью стратиграфически ограниченного кластерного анализа CONISS на спорово-пыльцевой диаграмме донных отложений озера Саган-Нур (рис. 24) выделено три локальные пыльцевые зоны: Сгн-1, Сгн-2 и Сгн-3. Описание зон приводится в хронологическом порядке, от более раннего периода к современности.

В колонку «Другие травы» включена пыльца трав, относительное обилие которых не превышало 1 %. Это пыльца трав из семейства гвоздичных, гречишных, бобовых, зонтичных (*Apiaceae* Lindl.), розоцветных, капустных (*Brassicaceae* Burnett, nom. cons.), норичниковых (*Scrophulariaceae* Juss.), яснотковых (*Lamiaceae* Martinov), фиалковых (*Violaceae* Batsch), мареновых (*Rubiaceae* Juss.), кирпейных (*Onagraceae* Juss.), ирисовых (*Iridaceae* Juss., nom. cons.), камнеломковых, лилейных и родов герани (*Geranium* sp. L.), валерианы, вьюнка, жимолости.

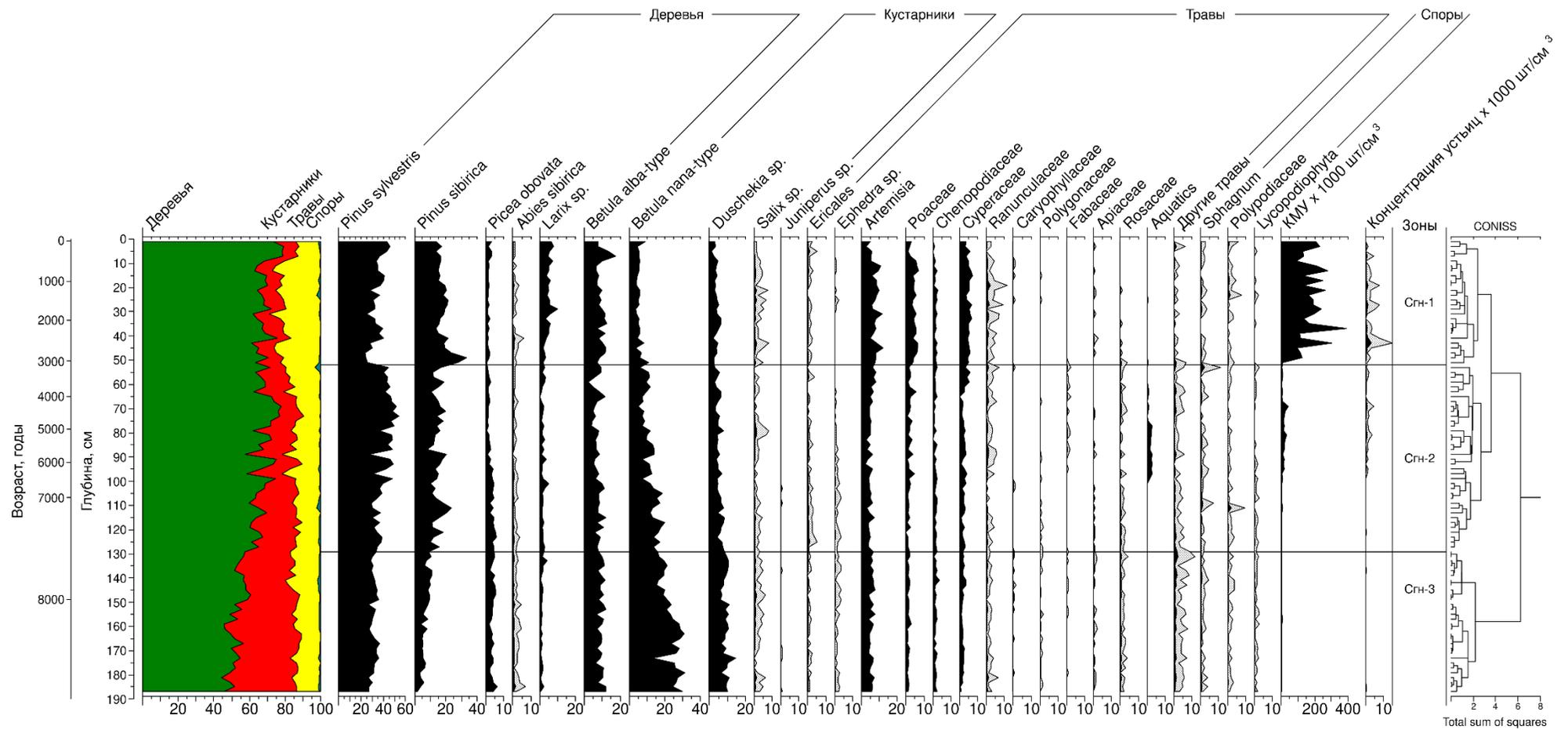


Рисунок 24. Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений озера Саган-Нур.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

Зона Сгн-3 (187-129 см, 8 650-7 570 кал.л.н.) отличается минимальным значением доли древесной растительности (52,7 %) в отношении других зон. В группе древесных растений преобладает пыльца сосны обыкновенной (31,2 %), ей сопутствует береза древовидная (9,5 %) и сосна сибирская (6,9 %).

Значение пыльцы сосны обыкновенной в образцах донных отложений близко к ее значениям в поверхностных пробах, что указывает на ее заносный характер.

Обилие пыльцы сосны сибирской ниже ее значений в поверхностных пробах, что указывает на еще более удаленный характер ее произрастания, тогда как обилие пыльцы березы выше значений поверхностных спектров, вероятно означая ее большую приближенность к озеру.

Низкое значение в донных отложениях пыльцы пихты (0,5 %) также указывает на ее заносный характер.

Учитывая изложенное, в качестве локальных таксонов, представляющих лесную растительность вблизи озера Саган-Нур, рассматриваются лиственница (1,3 %) и ель (3,6 %), указывая, что непосредственно вблизи озера роль древесных была еще менее значительной, чем отражено в спектрах, а распространение кустарников и трав – более значительным.

Среди кустарниковой растительности, пыльца которой особенно обильна в зоне Сгн-3 (32,7 %), выделяется пыльца кустарниковой березки (23,1 %), существенную долю имеет также пыльца ольховника (9,2 %). Присутствие пыльцы ивы и можжевельника отражено слабо, в среднем менее 1 %.

Группа пыльцы трав и кустарничков характеризуется значением в 3,6 % и, в основном, представлена пылью полыни (5,8 %) в меньших долях присутствуют злаковые (1,4 %), осоковые (1,9 %), маревые (1,7 %) и хвойник (0,4 %).

В составе спор примерно в равных пропорциях встречены споры сфагнума и многоножковых (около 0,4 % для обоих таксонов), в меньших долях присутствуют плауновые (0,3 %).

В спектрах зоны Сгн-3 отмечается минимальные концентрации микрочастиц углей (КМУ) (в среднем $3 \cdot 10^3$ шт/см³), а также концентрации устьиц хвойных растений (10 шт/см³).

В зоне Сгн-2 (129-53 см, 7 570-3 170 кал.л.н.) возрастает доля пыльцы древесной растительности (67,5 %) за счет увеличения доли пыльцы сосен (обыкновенная – 41,1 %, сибирская – 14,7 %). К верхним горизонтам зоны снижается обилие пыльцы ели до 2,6 %, значения остальных таксонов остаются почти неизменными.

Среди пыльцы кустарниковой растительности заметно снижается обилие пыльцы березки (до 11,8 %) и ольхи (до 5,4 %), в результате чего общая доля кустарников в спектрах снижается почти вдвое, до 17,5 %.

В группе пыльцы травянистых отмечается небольшое снижение процентного содержания пыльцы полыни (5 %) и появление в интервале керна 103-78 см пыльцы водных растений Aquatics. В целом, доля травянистой растительности в общем составе спектров остается практически неизменной в сравнении с предыдущей зоной.

Изменения в процентном содержании споровых растений также не происходит.

В зоне Сгн-2, по сравнению с зоной Сгн-3, резко возрастает концентрация остатков микроуглей (максимально до $10 \cdot 10^3$ шт/см³). В то же время в образцах чаще встречаются устьица хвойных растений. Увеличение их концентрации совпадает с интервалами увеличения концентрации углей, однако значения все еще относительно низкие (82 шт/см³).

Зона Сгн-1 (52-0 см, 3 170 кал.л.н.-современность) характеризуется увеличением доли пыльцы травянистой растительности (с 14 до 20,5 %) за счет повышения обилия пыльцы полыни (7 %), злаковых (4,6 %), осоковых (5,2 %). В это же время понижается обилие пыльцы хвойника (0,6 %) и таксонов, входящих в группу «Другие травы». Пыльца водных растений исчезает из состава спектров.

Становится меньше доля пыльцы кустарниковой растительности (10,2 %): снижается процент пыльцы кустарниковой березки (5,8 %), перестает появляться в образцах пыльца можжевельника.

Изменения в процентном содержании древесной растительности данной зоны незначительные в сравнении с зоной Сгн-2. Заметно выражено увеличение

обилия пыльцы лиственницы (5 %). Изменения в обилии других таксонов практически нет.

Зона Сгн-1 отличается максимальными концентрациями микрочастиц углей (ср. знач. $177 \cdot 10^3$ шт/см³, макс. знач. $388 \cdot 10^3$ шт/см³) и устьиц хвойных растений (сред. знач. 322 шт/см³).

График концентрации пыльцы (рис. 25) демонстрирует, что в зоне Сгн-1 содержание пыльцевых зерен основных лесообразующих пород увеличивается в сравнении с зонами Сгн-2 и Сгн-3, в целом, соответствуя и повышению процентного содержания пыльцы этих таксонов в зоне Сгн-1 (рис. 24), подтверждая корректность сделанных ранее выводов.

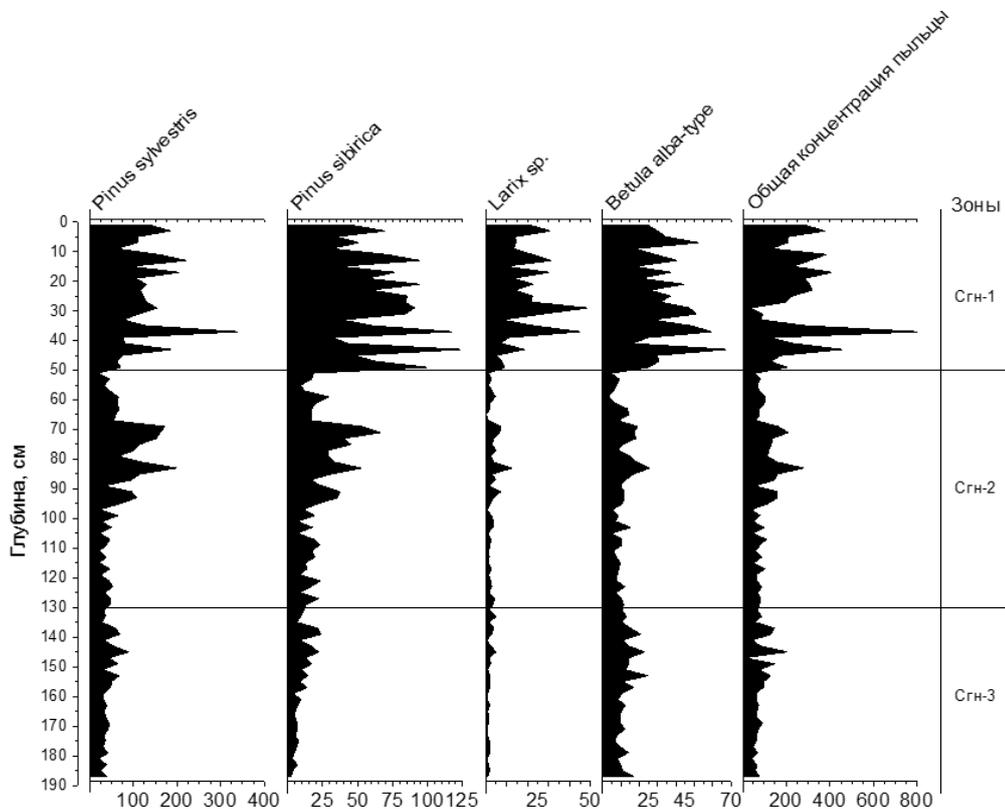


Рисунок 25. Концентрация пыльцевых зерен сосны обыкновенной, сосны сибирской, лиственницы, березы и концентрация общей суммы всех пыльцевых зерен в отложениях озера Саган-Нур.

Результаты значений концентрации в зонах Сгн-2 и Сгн-3 согласуются с данными процентного распределения таксонов: в зоне Сгн-3 значения концентрации всех древесных ниже, затем в зоне Сгн-2 они увеличиваются.

4.4.2. Озеро Ильчир

Результаты суммированы на спорово-пыльцевой диаграмме (рис. 26). При помощи дендрограммы CONISS выделено три локальных пыльцевых зоны, отображенные на диаграмме: Илч-1, Илч-2 и Илч-3.

В колонку "Другие травы" отнесена пыльца травянистой растительности, содержание которой в СПС значительно меньше 1 %. Данную колонку составляет сумма пыльцы таких трав, как: зонтичные, астровые, гвоздичные, мареновые, кувшинковые (*Nymphaeaceae* Salisb.), подорожника (*Plantago* sp. L.), щавеля (*Rumex* sp. L.), лютиковые, валерианы, кипрейные, камнеломковые.

Самая нижняя зона **Илч-3** (132-88 см, ок. 6 600-2 800 кал.л.н.) отмечена высоким содержанием пыльцы группы древесных растений (72,2 %), в которой преобладает пыльца сосны обыкновенной (39 %) и сосны сибирской (21,2 %), выделяется пыльца сибирской пихты (5,9 %). Локальные древесные таксоны представлены очень слабо, в основном лиственницей (0,25 %).

Процентное содержание пыльцы кустарников в среднем не превышает 4,2 %, в основном это пыльца ивы (0,08 %), ольхи (0,7 %) и березки (3,4 %).

Обилие трав достигает около 23 % от общей суммы пыльцы, в основном за счет пыльцы злаковых (11 %) и полыни (4,8 %), менее выражено присутствие осоковых (2,4 %) и маревых (1,6 %).

Доля споровых растений в СПС составляет около 0,6 %. Основная часть представлена спорами сфагнового мха (0,6 %) и папоротников семейства многоножковых (0,04 %).

Концентрация микрочастиц углей достигает в среднем $69 \cdot 10^3$ шт/см³. Устьиц хвойных растений в данной зоне не обнаружено.

Зона Илч-2 (88-40 см, ок. 2 800-1 400 кал.л.н.) включает СПС, в которых, по сравнению с предыдущей зоной, снизилось относительное обилие пыльцы древесных (до 67 %), в основном, за счет пыльцы сосны обыкновенной (до 30,7 %). При этом повысилось содержание пыльцы пихты (до 6,3 %), сосны сибирской (до 22 %) и, особенно, лиственницы (с 0,2 до 0,7 %).

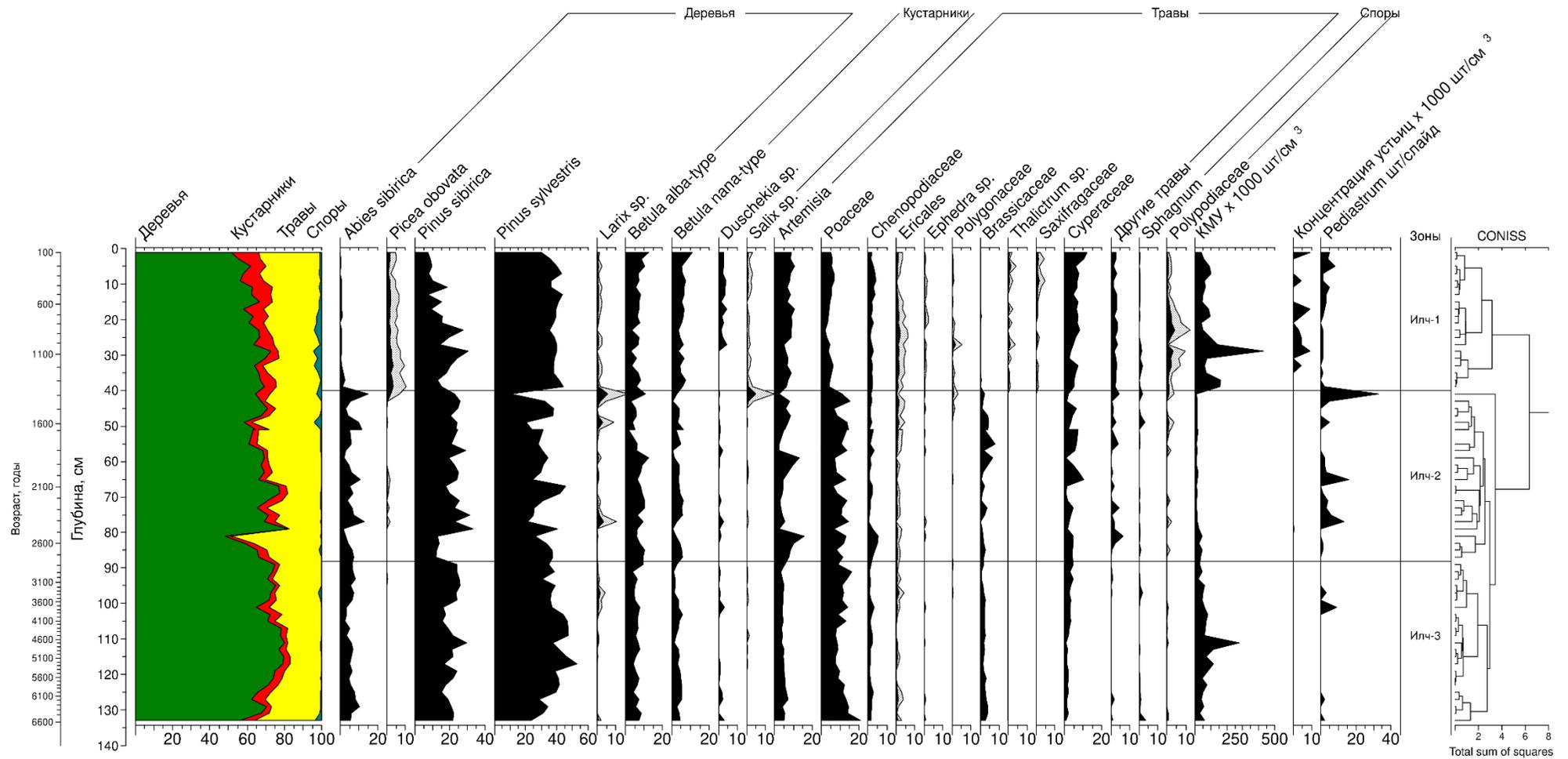


Рисунок 26. Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений озера Ильчир.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

Среди кустарниковой растительности изменений в составе СПС не наблюдается, однако, увеличивается обилие пыльцы трав (до 27,8 %), в основном за счет полыни (до 6,2 %) и осоковых (до 4,1 %). Также увеличивается сумма пыльцы растений из колонки "другие травы" (до 1,5 %).

Концентрация микрочастиц угля в данной зоне снизилась до $17 \cdot 10^3$ шт/см³. Концентрация устьиц хвойных растений, напротив, возросла до 50 шт/см³.

В СПС зоны Илч-1 (верхние 40 см керна, последние примерно 1 400 лет) снижается содержание пыльцы древесных (63 %). Главным образом, изменение вызвано уменьшением обилия пыльцевых зерен сосны сибирской (до 15,3 %), лиственницы (0,5 %), березы (7 %) и пихты (до 0,7 %). Однако в то же время увеличивается обилие пыльцевых зерен сосны обыкновенной, до значений зоны Илч-3 (39 %), а также пыльцы ели (с 0,19 % до 2 %).

Увеличивается обилие пыльцы кустарников (с 4,5 до 8,3 %) за счет повышения обилия пыльцы карликовой березы (с 3,6 до 6 %), ольховника (с 0,6 до 2 %), ивы (с 0,3 до 0,6 %).

Обилие пыльцы травянистых растений также увеличилось (до 26,6 %) за счет пыльцы полыни (с 6,3 до 8 %), верескоцветных (с 0,7 до 1,2 %), осоковых (с 4 до 6,6 %), а также других трав (до 2,6 %).

Зона Илч-1 отличается увеличением обилия спор в образцах до 2 %, в основном за счет увеличения процентного содержания спор папоротников (до 1,9 % в среднем).

Увеличивается концентрация микрочастиц угля до $98 \cdot 10^3$ шт/см³, в среднем. То же верно для концентрации устьиц хвойных растений, значение которых увеличивается в среднем до 271 шт/см³ (Волчатова и др., 2021).

Значения концентрации пыльцы древесных растений демонстрируют резкий рост в зоне Илч-1 (рис. 27), указывая на то, что в последние 1 400 лет, скорее всего, произошло региональное повышение верхней границы леса с участием сосен, а лиственничные редколесья на склонах котловины озера стали более густыми и/или приблизились к озеру.

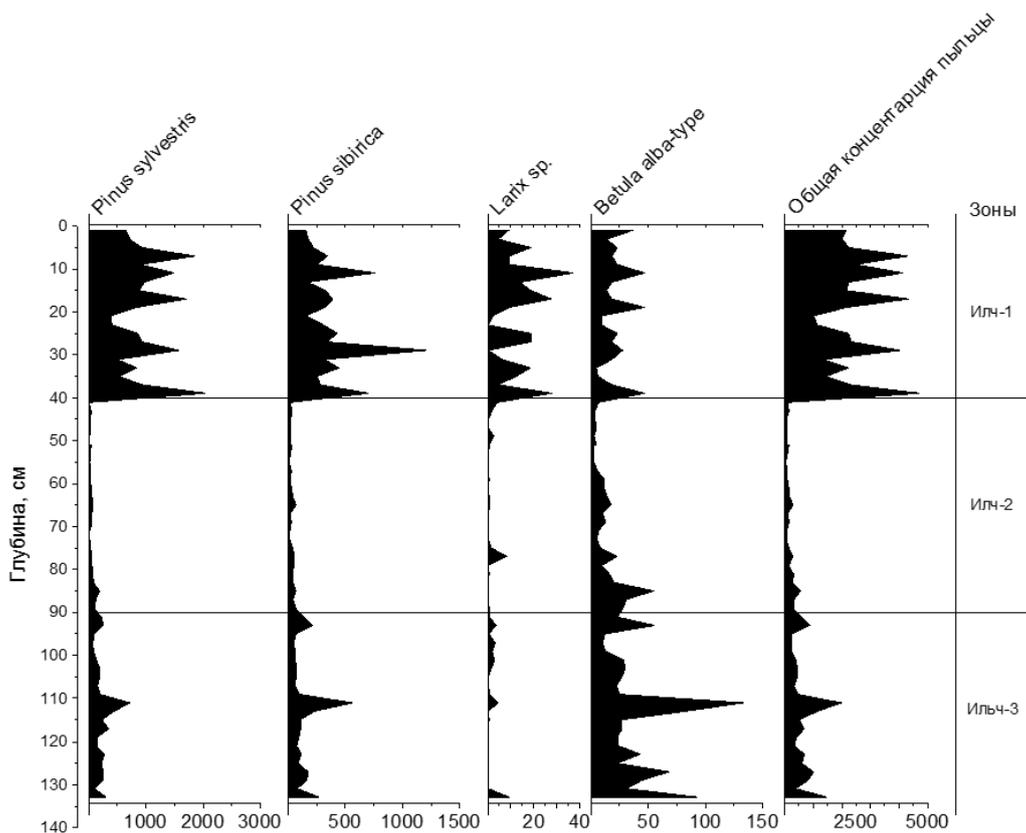


Рисунок 27. Концентрация пыльцевых зерен сосны обыкновенной, сосны сибирской, лиственницы, березы и концентрация общей суммы всех пыльцевых зерен в отложениях озера Ильчир.

4.4.3. Озеро Шас-Нур

Результаты спорово-пыльцевого анализа представлены на рисунке 28.

С помощью дендрограммы CONISS выделено три спорово-пыльцевые зоны: Шсн-1, Шсн-2, Шсн-3. Верхняя зона разделяется на две подзоны: Шсн-1а и Шсн-1б.

В спектрах всех образцов преобладает пыльца древесной растительности (77 %), в основном из-за сосны обыкновенной (46,1 %), составляющей заносный компонент спектра. Выводы о заносности пыльцы сосны сделаны на основе отсутствия сосны в составе современной растительности вблизи озера и данных спорово-пыльцевых спектров поверхностных образцов, в которых значения содержания пыльцы сосны примерно одинаковы для донных отложений и поверхностных проб.

Древесная растительность в **зоне Шсн-3** (189-109 см, 3 000-670 кал.л.н.) представлена пылью сосны обыкновенной (42 %), сосны сибирской (17 %), ели (3 %), березы древовидной (12,5 %), лиственницы (2,9 %), пихты (0,6 %).

Обилие пыли кустарников не превышает в среднем 8,3 %. В их составе преобладает ольха кустарниковая (6 %). Незначительно процентное содержание пыли ивы и березки (1,3 и 1,1 % соответственно).

Процентное содержание пылевых зерен травянистой растительности в данной подзоне составляет около 13,2 %. Преобладающую роль имеет пыльца полыни (6 %), злаковых (2,8 %), осоковых (2,1 %), маревых (1 %). Содержание пыли остальных трав невелико, индивидуально составляя менее 1 %.

В среднем доля споровых растений в спектрах этой зоны составляет около 3,1 %. Наиболее часто встречаются споры сфагнома (0,7 %), многоножковых (1,2 %) и плаунов (0,6 %). Остальные таксоны представлены единичными экземплярами.

Концентрация микроостатков углей является постоянно низкой во всех изученных образцах. Однако, в спектрах нижней зоны Шсн-3, у ее верхней границы, наблюдается ее увеличение. В среднем значения концентрации микроуглей для этой зоны составляет $4 \cdot 10^3$ шт/см³. Концентрация устьиц в этой зоне в среднем равняется 977 шт/см³.

В **зоне Шсн-2** (108-61 см, 670-270 кал.л.н.) за счет доли пыли обеих сосен – обыкновенной (52,9 %) и сибирской (21,1 %), ели (1,2 %) увеличивается процентное содержание пыли древесных растений (81,2 %).

Несмотря на снижение процентного содержания сосны сибирской в образцах, в среднем ее количество в данной зоне увеличилось в сравнении с зоной Шсн-3 до 21,1 %. Обилие пыли ели также увеличилось до 1,2 %. При этом обилие пыли березы снизилось с 12,5 % до 4,5 %.

Доля пыли кустарников снижается до 5 %, в основном за счет уменьшения процентного содержания пылевых зерен ольхи кустарниковой (3,7 %).

Относительное обилие пыльцы остальных кустарниковых таксонов остается без изменений.

Процент пыльцы травянистой растительности также понижается до 8 %. Снижение средних значений отмечается у всех таксонов этой группы, но наиболее выражены изменения в обилии пыльцы полыни (с 6,3 % до 3,8 %) и злаковых (с 2,8 % до 0,9 %). Доля споровых растений, в сравнении с зоной Шсн-3, возрастает в среднем до 5,8 %. Наиболее явно это проявляется в обилии спор плауновых: их процентное содержание выросло до 1,02 %. Обилие спор дифузиаструма увеличивается до 1,8 %. Содержание остальных споровых растений в образцах также возрастает.

Концентрация микроуглей в данной зоне отмечена максимумом значений относительно всего керна, который проявляется пиком у нижней границы зоны, достигая значений в $47 \cdot 10^3$ шт/см³. В среднем значения концентрации микроуглей для этой зоны составляют $5 \cdot 10^3$ шт/см³.

Значения концентрации устьиц хвойных растений в среднем увеличиваются до 1 173 шт/см³, однако максимум и минимум практически не меняются в сравнении с зоной Шсн-3.

Зона Шсн-1 разделена на две подзоны: Шсн-1а и Шсн-1б.

Подзона Шсн-1б (60-29 см, 270-120 кал.л.н.) характеризуется уменьшением доли пыльцы древесной растительности (74,7 %) с увеличением процентного содержания кустарников и трав (7,6 и 11,9 % соответственно).

Снижение доли пыльцы древесных растений вызвано уменьшением содержания пыльцы ели (3 %), пихты (0,4 %) и сосен (сибирская до 19 %, обыкновенная до 45,5 %). Однако, в данной подзоне повышается процент пыльцы березы (до 9,3 %).

Среди кустарниковой растительности увеличились значения пыльцы ольховника до 5,3 % и кустарниковой березы до 1,72 %. Процентное содержание пыльцы ивы практически не изменилось в сравнении с предыдущей зоной.

В составе группы трав значительные изменения процентного содержания пыльцы в образцах наблюдаются у полыни (повышение до 6,6 %) и злаковых (до 1,8 %).

Среди споровых увеличивается процент сфагнома (до 1,4 %), однако, за счет снижения доли спор плауна почти в два раза (до 0,9 %), общая доля споровых не изменяется.

Почти в четыре раза уменьшается концентрация микроуглей в сравнении с зоной Шсн-2 (примерно до $1 \cdot 10^3$ шт/см³ в среднем). На глубине 41 см отмечен небольшой пик концентрации, однако, в целом характер кривой изменения концентрации микрочастиц углей не имеет резких колебаний.

Концентрация устьиц хвойных растений также уменьшается, составляя в среднем 298 шт/см³.

Значение копрофитных сордариевых грибов в данной подзоне максимально для всего керна.

Подзона Шсн-1а (28-0 см, 120 кал.л.н. – современность) характеризуется вновь возрастающей ролью пыльцы древесных (76,7 %), в основном за счет пыльцы березы (17 %). Незначительно снижается присутствие пыльцы кустарниковых таксонов, до 7 % в сумме. Увеличивается доля травянистой растительности до 13,03 %, за счет все возрастающей роли полыни (8 %).

Доля спор уменьшается в сравнении с предыдущей подзоной почти в два раза, до 2,9 %, за счет снижения процентного содержания всех таксонов, входящих в этот спектр. Верхняя подзона керна характеризуется минимальными значениями для всего разреза.

Значения концентрации микрочастиц углей в данной подзоне также являются минимальными для всего разреза. Снижаются и значения концентрации устьиц хвойных растений, составляя в среднем 228 шт/см³.

Общая концентрация пыльцевых зерен в донных отложениях озера Шас-Нур (рис. 29) имеет наиболее высокие значения на глубинах с 80 по 145 см керна.

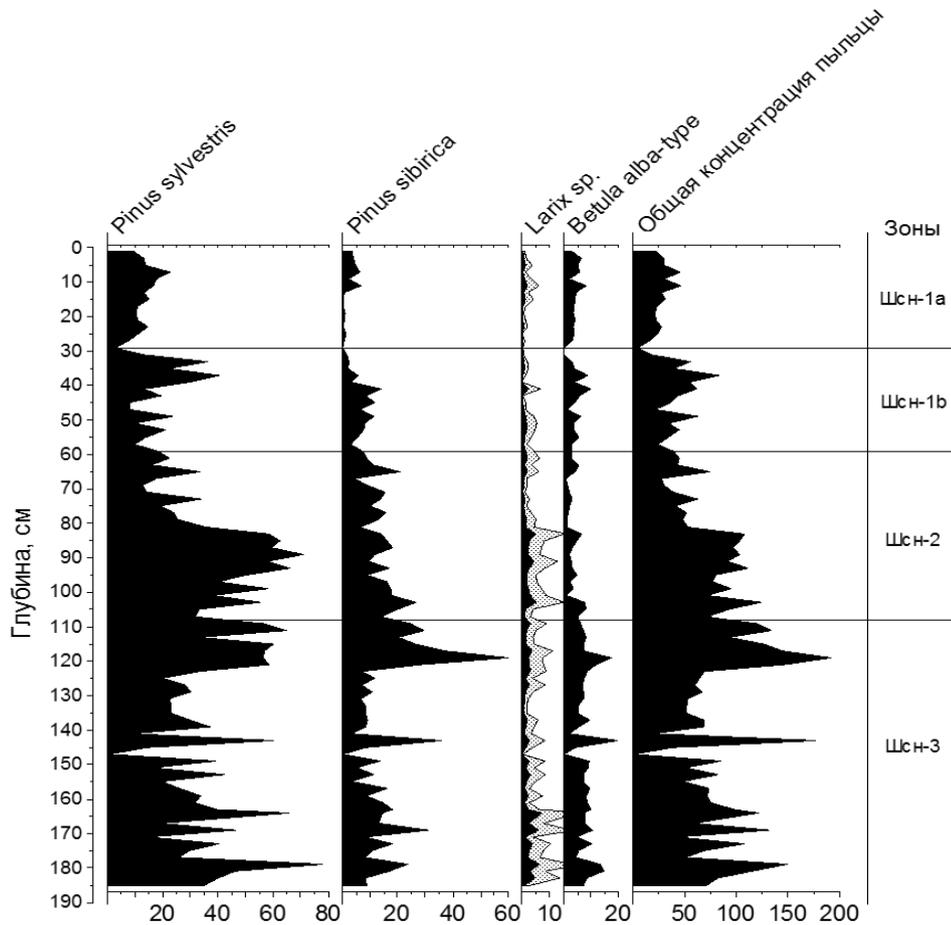


Рисунок 29. Концентрация пыльцевых зерен сосны обыкновенной, сосны сибирской, лиственницы, березы и концентрация общей суммы всех пыльцевых зерен в отложениях озера Шас-Нур.

К настоящему времени показатели концентрации пыльцы постепенно снижаются, характеризуя уменьшение поступления пыльцы древесных, травянистых и кустарниковых растений в воды озера.

4.4.4. Озеро Номто-Нур

Донные отложения озера Номто-Нура представлены в основном массивными озерными илами, более светлыми в нижней части (126-83 см), с прослоем тонко сортированного алеврита в интервале глубин 63-68 см, и более темными илами в верхней части керн (верхние 63 см).

На спорово-пыльцевой диаграмме, построенной по результатам анализа керн из озера Номто-Нур, выделены три локальные пыльцевые зоны: Нтн-1, Нтн-2 и Нтн-3 (рис. 30).

В колонку «Другие травы» для удобства отображения на диаграмме включена пыльца следующих трав: крестоцветных, горечавковых (*Gentianaceae* Juss.), бобовых, мареновых, кипрейных, герани, валерианы, щавеля, камнеломковых, яснотковых, жимолости, синюхи (*Polemonium* sp. L.), подорожника, вахтовых (*Menyanthaceae* Dumort.), ирисовых, лилейных. В группу «Другие водоросли» отнесены клетки водорослей спирогиры (*Spirogyra* Link), ботриококкуса (*Botryococcus* Kützing), педиаструма (*Pediastrum* Meyen) (Волчатова и др., 2024). В колонке "Мхи" обобщены споры *Hepaticaceae*, *Riccia* sp., *Meesia* sp., *Equisetaceae*, бриевых.

В отложениях всего керна встречено большое количество пыльцевых зерен сосны сибирской и сосны обыкновенной. Исходя из результатов анализа поверхностных проб илов озера Номто-Нур, сходных с результатами анализа донных отложений, пыльца данных пород отнесена к заносному элементу спектра.

В спорово-пыльцевых спектрах **зоны Нтн-3** (126-68 см, 750-440 кал.л.н.) преобладает пыльца древесных растений, составляя 74,6 % от общего числа пыльцевых зерен, в основном, за счет пыльцы сосны обыкновенной и сосны сибирской (31,4 и 33,7 % соответственно).

Из локально произрастающих древесных в отложениях наиболее обильно представлена пыльца ели сибирской (6,1 %). В несколько меньшем количестве и почти в равных долях присутствует пыльца лиственницы и березы (примерно около 3 %). Крайне слабо выражено присутствие пыльцы пихты (0,7 %).

В группе кустарников (6,4 %) установлена пыльца ольховника, кустарниковой березы, ивы и можжевельника. Среди них преобладает пыльца карликовой березки (2,9 %), пыльца ивы имеет близкие к ней значения – 2,1 %, меньше встречено пыльцы ольховника (1,8 %).

Процентное содержание пыльцевых зерен можжевельника низкое и составляет 0,05 %, его пыльца встречается эпизодически.

В СПС зоны Нтн-3 наблюдается значительное разнообразие пыльцы травянистой растительности (13 %). Особенно выделяется пыльца осоковых (6 %), которой сопутствует пыльца полыни (3 %) и злаковых (2 %).

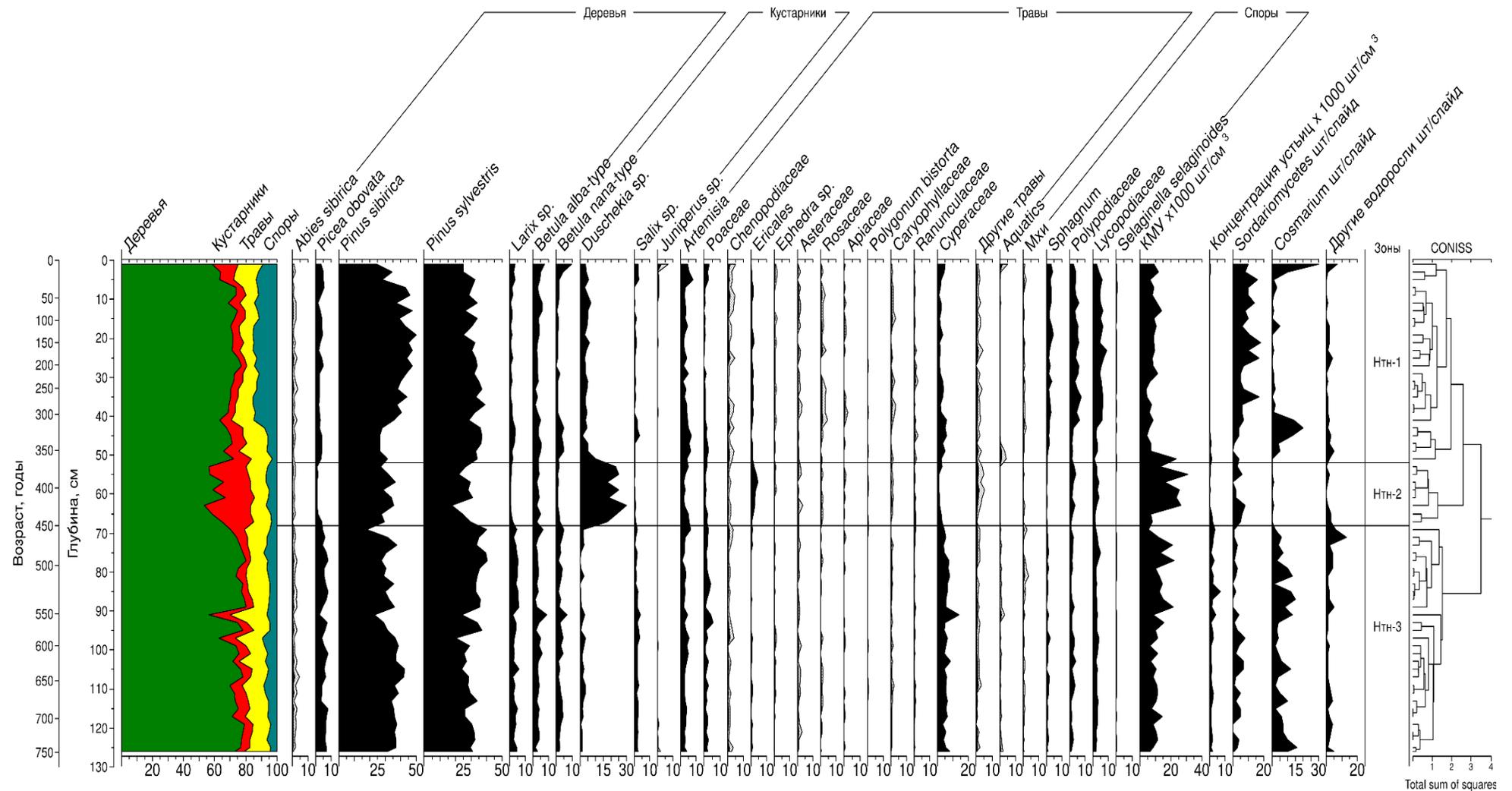


Рисунок 30. Спорово-пыльцевая диаграмма донных отложений озера Номто-Нур.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

Содержание пыли остальных трав представлено незначительно. Содержание пыли трав-гидрофитов Aquatics в СПС также невелико – 2,07 %.

В группе спор наиболее высокие значения приходятся на споры плауновых (до 2,6 %), многоножковых (до 1,8 %), сфагновых мхов (до 1 %). Доля спор плаунов *Selaginella selaginoides* низкая, не превышает 0,12 %. В общем составе спектров споры имеют среднее значение около 5,8 %.

В группе непыльцевых палиноморф наиболее заметно присутствие водорослей рода космариум (*Cosmarium* Corda ex Ralfs) (7 шт/слайд, в среднем) и сордариевых грибов (3 шт/слайд, в среднем).

Количество остатков водорослей спиригиры, ботриококкуса, педиаструма варьируется от 13 до 0 шт/слайд.

Значения концентрации микрочастиц углей в СПС зоны Нтн-3 составляют около $12 \cdot 10^3$ шт/см³.

Концентрация устьиц хвойных растений имеет максимальные для всего керна значения (в среднем $1\ 889$ шт/см³), кривая графика имеет непрерывный характер, указывая на постоянное присутствие устьиц в образцах этой зоны.

Состав СПС зоны **Нтн-2** (68-53 см, 440-370 кал.л.н.) существенно отличается от состава СПС предыдущей зоны.

В общем составе пыли и спор значительно сокращается обилие пыли древесных (60,2 %) и повышается – кустарниковых растений (до 23 %). В группе пыли древесных растений снижается обилие пыли ели (до 1,7 %), лиственницы (0,9 %), сосны обыкновенной (до 26 %).

В группе пыли кустарников почти в три раза повышается обилие пыли ольховника (до 22,6 %). В группе пыли травянистых и кустарничковых растений снижается обилие пыли злаковых (до 1,2 %) и осоковых (1,7 %), однако при этом повышается обилие пыли полыни (3,4 %), верескоцветных (с 0,2 до 2,5 %).

В группе спор снизилось обилие спор сфагновых мхов (с 1 до 0,4 %). В зоне Нтн-2 полностью отсутствует *Selaginella selaginoides*.

В составе непыльцевых палиноморф следует отметить увеличение значений концентрации микрочастиц углей в среднем до $19 \cdot 10^3$ шт/см³. Концентрация

устьиц хвойных растений снижается практически в три раза в сравнении с нижней зоной, до 541 шт/см^3 , доходя до минимума значений к верхнему горизонту зоны (до 0 шт/см^3) по сравнению с концентрацией этих палиноморф в спектрах зоны Нтн-3.

В СПС подзоны Нтн-1 (верхние 51 см, последние примерно 370 лет) соотношение пыльцы древесных, кустарниковых, травянистых и споровых растений значительно изменяется по отношению к зоне Нтн-2.

Обилие пыльцы древесных увеличивается до 70 % в среднем, за счет увеличения обилия пыльцы сосен (сосна сибирская до 38 %, сосна обыкновенная до 32,1 %), ели (3,5 %) и лиственницы (1,7 %). Обилие пыльцы других древесных таксонов также повышается.

Значительно уменьшается доля кустарниковой растительности, до 7 % в среднем, за счет снижения обилия пыльцы всех таксонов.

Процентное обилие трав в сравнении с предыдущей зоной изменяется незначительно. Среди травянистых таксонов увеличивается роль осоковых (3 %), почти в два раза снижается доля пыльцы верескоцветных (0,9 %). Обилие остальных таксонов в спектрах этой зоны не претерпевает существенных изменений в сравнении с предыдущей зоной Нтн-2.

Доля споровых растений становится больше, чем ранее (11,9 %), в основном за счет повышения обилия спор плауновых (4,8 %), многоножковых (4,2 %) и сфагновых мхов (2,4 %). Обилие спор остальных мхов (*Herpaticae*, *Riccia* sp., *Meesia* sp., *Equisetaceae*, бриевых) и плаунка плаунковидного практически не изменяется на протяжении всего керна.

В группе непыльцевых палиноморф от основания зоны к ее вершине постепенно повышается количество спор копрофитных сордариомицетовых грибов (в среднем 9 шт/слайд). Увеличивается и число клеток зеленых водорослей рода *Космариум*, составляя 4 шт/слайд, в среднем. Однако, на глубинах 1-3 см и 40-45 см чисто клеток водорослей рода *Космариум* достигает максимальных значений для керна: 30 шт/слайд.

Среднее значение концентрации микроуглей для данной зоны составляет $9 \cdot 10^3 \text{ шт/см}^3$.

Концентрация устьиц хвойных растений в данной зоне низкая относительно зон Нтн-2 и Нтн-3, отражая минимальные значения для керна: 203 шт/см³, в среднем.

Характер кривых концентрации пыльцы древесных таксонов (рис. 31) по своей динамике аналогичен колебаниям кривых их процентного соотношения (рис. 30).

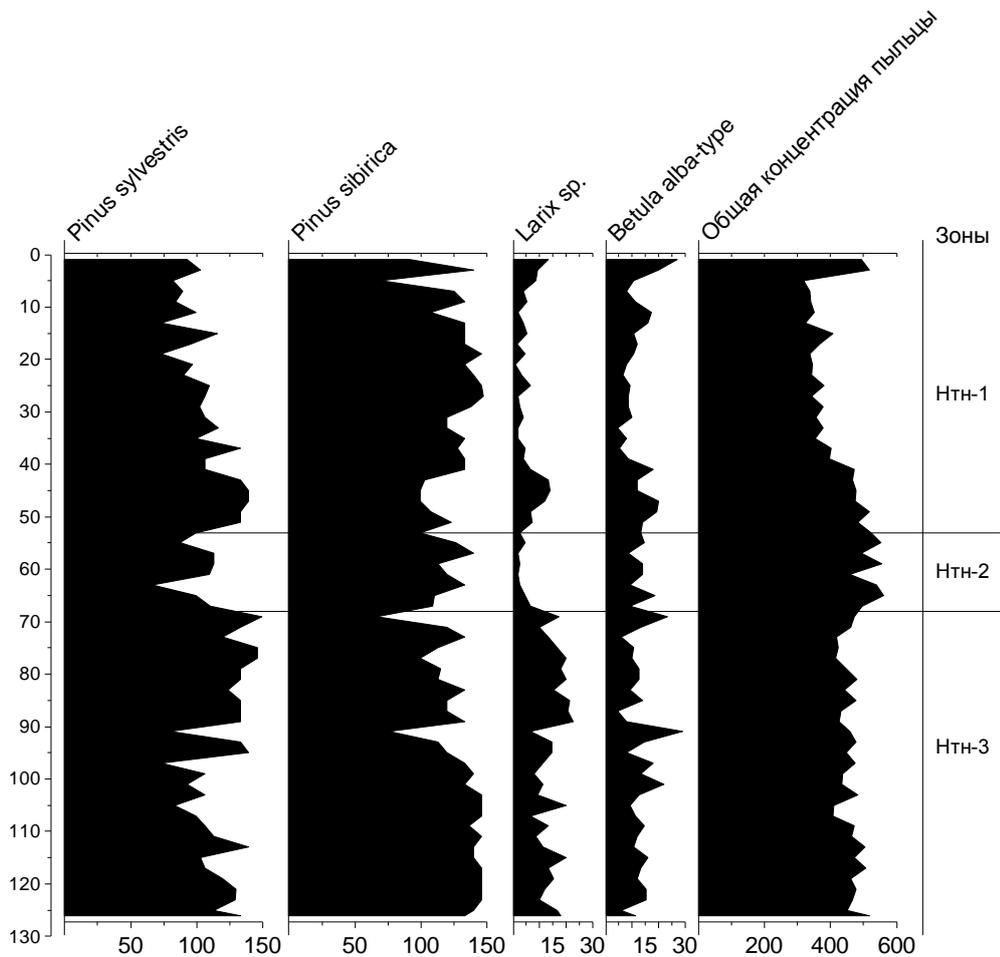


Рисунок 31. Концентрация пыльцевых зерен сосны обыкновенной, сосны сибирской, лиственницы, березы и концентрация общей суммы всех пыльцевых зерен в отложениях озера Номто-Нур.

4.4.5. Долина реки Сенца

С помощью дендрограммы CONISS на спорово-пыльцевой диаграмме торфяных отложений из долины реки Сенца выделено две локальные пыльцевые зоны: Снц-1 и Снц-2 (рис. 32). Эти зоны разделены на подзоны Снц-1а, Снц-1б,

Снц-2а, Снц-2б. Описание состава СПС в зонах приведено снизу вверх (Волчатова и др., 2024).

В составе СПС **подзоны Снц-2б**, (61-45 см, 4 700-1 750 кал.л.н.), преобладает пыльца древесных растений (81,4 %). Наиболее обильно среди древесных представлена пыльца сосны сибирской (37,6 %) и сосны обыкновенной (33,5 %). Пыльце сосен сопутствует максимальное для всего разреза относительное обилие пыльцы ели сибирской (11,4 %). Невысокие значения характерны для пыльцы пихты (1,1 %), лиственницы (0,4 %) и древовидной березы (0,2 %).

Пыльца кустарниковой растительности выражена крайне слабо (3,8 %). Больше всего пыльцы кустарниковых березок (2,5 %). Ей сопутствует пыльца ольхи кустарниковой (0,7 %) и ивы (0,6 %).

Обилие пыльцы трав в СПС этой подзоны также незначительно (11,5 %). Основную часть спектра травянистых растений составляет пыльца осоковых (8,8 %). Среди других таксонов выделяется пыльца астровых (1 %), тогда как остальные присутствуют, как правило, в форме единичных зерен.

Среди споровых растений доминирует плаун, также присутствуют споры сфагнома и многоножковых (около 3 %).

Микрочастицы углей в отложениях подзоны Снц-2б отсутствуют. Обилие устьиц в слайдах данной подзоны максимально для всего керна: 4 645 шт/см³, тогда как среднее значение составляет 1 459 шт/см³.

В нижних горизонтах (45-42 см) СПС **подзоны Снц-2а** (45-31 см, несколько древнее 1 750 – около 750 кал.л.н.) наблюдается резкое снижение доли пыльцы древесных растений, после чего происходит резкий рост кривой, совпадающий с ростом кривой сосны обыкновенной, что обусловлено заносным характером пыльцы этого таксона в торфяные отложения.

В общем составе спектров подзоны Снц-2а обилие пыльцы древесных растений снижается до 72 %. Это вызвано снижением обилия в отложениях пыльцевых зерен локальных таксонов, в частности снижением доли пыльцы ели (5,3 %). Также снизилось относительное обилие пыльцы пихты (0,6 %).

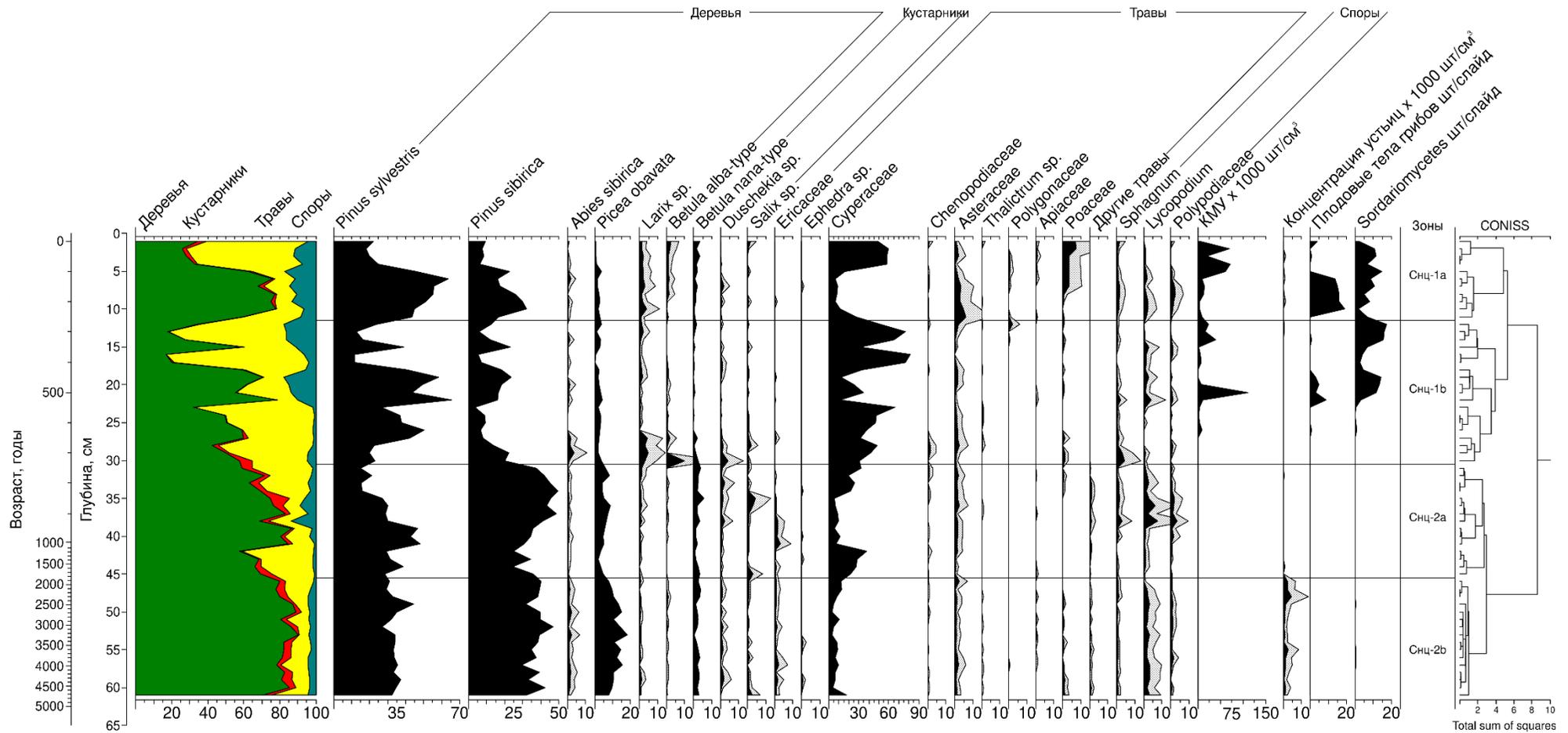


Рисунок 32. Спорово-пыльцевая диаграмма торфяных отложений в долине реки Сенца.

Цвета в левой части диаграммы соответствуют цветовому обозначению спектров на рисунке 14.

От основания к верхней части подзоны уменьшается процентное содержание пыльцы сосны обыкновенной и увеличивается – сосны сибирской. Пыльца березы древовидной в данной подзоне была встречена в единичных зернах.

Доля пыльцы кустарников практически не меняется по сравнению с их содержанием в СПС подзоны Снц-2b. Исключение составляет пыльца кустарниковой ольхи, среднее обилие пыльцы которой составило 0,9 % по сравнению с 0,5 % в подзоне Снц-2b. Слабо увеличилось обилие пыльцы кустарниковой ивы, с 0,64 % до 0,78 % в среднем.

Обилие трав в подзоне Снц-2а повышается до 20 %. Увеличение значений травянистой части спектра происходит за счет пыльцы осоковых (17,7 %). Постоянно отмечается пыльца астровых, в то время, как пыльца злаковых появляется лишь в верхних горизонтах. Обилие пыльцы остальных трав незначительно.

В группе спор немного повысилось относительное обилие спор сфагновых мхов, плаунков и папоротникообразных, общая доля споровых в спектрах увеличилась до 3,9 %.

Микроугли в данной подзоне также не встречены. Значение концентрации устьиц хвойных также низкое: 45 шт/см³.

В СПС **подзоны Снц-1b** (31-12 см керна, 750-250 кал.л.н.) существенно снижается доля пыльцы древесной растительности (48 %). Процентное содержание пыльцы сосны обыкновенной имеет неустойчивые значения, изменяясь на протяжении подзоны от 12 до 66 %, и составляя 33,7 % в среднем. В сравнении с подзоной Снц-2а значительно снижается относительное обилие пыльцы сосны сибирской (13,4 %), ели (2,5 %). Увеличивается обилие пыльцы лиственницы (1,3 %) и березы (0,8 %).

Процентное содержание пыльцы кустарников в подзоне Снц-1b значительно ниже, чем в подзоне Снц-2а (с 3,8 до 1,3 %). Все таксоны, входящие в эту группу пыльцы, имеют низкие значения.

Обилие пыльцы трав повышается почти в два раза по сравнению с предыдущей подзоной Снц-2а (42,6 %). Причиной этого становится резкое

увеличение содержания в спектрах пыльцы осоковых, которое достигает максимальных значений для всего разреза: до 44 %. В тоже время присутствие пыльцы других таксонов трав низкое. Пыльцы таксонов из колонки "другие травы" не обнаружено.

Возрастает роль спор споровых растений (8 %). Однако это, вероятно, вызвано минимальными значениями обилия пыльцы кустарниковых и понижением обилия пыльцы древесных, так как индивидуальные значения таксонов споровых растений не увеличиваются, в некоторых случаях даже снижаются (обилие плаунов, в сравнении с подзоной Снц-2а, уменьшается с 2,2 % до 1 %)

Отличительной чертой содержания микрофоссилий в отложениях подзоны Снц-1b является резкое увеличение концентрации микрочастиц углей. Пик значений достигает максимума для всего керна: $111 \cdot 10^3$ шт/см³, однако выше 20 см керна значения становятся значительно ниже. В среднем значения концентрации микроуглей для данной подзоны составляют $12 \cdot 10^3$ шт/см³.

Устьица хвойных растений в данной подзоне встречаются в крайне низкой концентрации (29 шт/см³, в среднем).

В подзоне Снц-1b присутствует тенденция увеличения количества непыльцевых палиноморф, особенно копрофитных грибов рода сордария.

Подзона Снц-1а (12-0 см, 250 кал.л.н.-современность) характеризуется вновь возрастающей ролью пыльцы древесной растительности в спектрах (до 55,8 %), в основном за счет пыльцы сосны обыкновенной (40,2 %) и сосны сибирской (17,6 %), а также возросшим обилием пыльцы лиственницы (2 %). Кривая, отображающая изменение обилия пыльцы лиственницы, образует непрерывную линию в верхних 11 см толщи отложений.

Увеличивается роль карликовой березы (с 0,6 до 1,7 %), за счет чего повышается обилие пыльцы кустарниковых в среднем до 2,1 %.

Среди травянистой растительности можно выделить увеличение доли пыльцы астровых (с 1,4 % до 2,2 %) и злаковых (с 0,3 % до 3,2 %). Значения последних постепенно возрастают к верхним горизонтам. Более значительным становится присутствие пыльцы других трав в сравнении с зоной Снц-2, в

частности зонтичных (с 0,05 % до 0,3 %) и гречишных (0,12 % до 0,28 %). Однако снижается содержание пыли осоковых, до 28,3 % в среднем, что в целом оказывает влияние на долю травянистой растительности, которая также снижается до 31,2 %

Кривая графика концентрации микроуглей демонстрирует два пика значений на 5-0 см от поверхности керна, достигающие $71 \cdot 10^3$ шт/см³. Среднее значение концентрации микроуглей подзоны Снц-1b составляет $26 \cdot 10^3$ шт/см³.

Концентрация устьиц хвойных растений увеличивается в сравнении с подзоной Снц-1b, составляя 173 шт/см³.

Характер кривых концентрации пыли древесных таксонов (рис. 33) аналогичен по своей динамике колебаниям кривых их процентного соотношения (рис. 32).

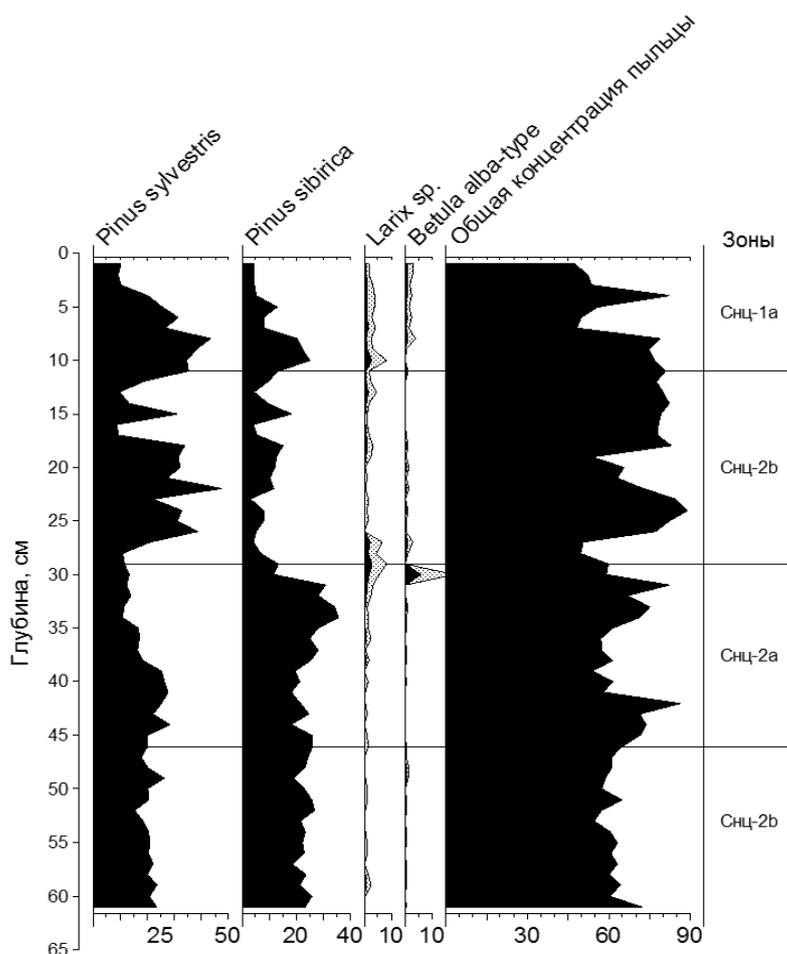


Рисунок 33. Концентрация пыльцевых зерен сосны обыкновенной, сосны сибирской, лиственницы, березы и концентрация общей суммы всех пыльцевых зерен в отложениях торфяника в долине реки Сенца

Таким образом, сопоставление значений процентного содержания в поверхностных субрецентных спектрах с ископаемыми спектрами подтверждает заносный характер таких древесных таксонов, как сосна сибирская, сосна обыкновенная и береза древовидная, что прямым образом влияет на реконструкцию растительного покрова более древних лет.

Обилие заносной пыльцы оказывает влияние на представление о характере растительного покрова исследуемых территорий. Заносная пыльца сосен и березы увеличивает долю древесной растительности в общих спектрах отложений, занижая роль пыльцы кустарникового и травянистого яруса, формируя мнение о залесенности территорий там, где леса распространены ограниченно или имеют изреженный характер.

Эти выводы также положены в основу реконструкции растительности.

ГЛАВА 5. РЕКОНСТРУКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И КЛИМАТА ОКИНСКОГО ПЛАТО В СРЕДНЕМ И ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ

5.1. Озеро Саган-Нур

Пыльцевые данные из донных отложений озера Саган-Нур отражают историю растительности за длительный период времени: от финала раннего голоцена до современности. В целом, реконструкции предполагают, что за время формирования изученной толщи донных отложений озера растительность в его котловине развивалась следующим образом.

Наиболее древний этап формирования отложений приходится на интервал времени 8 600-7 500 кал.л.н., характеризуется распространением лесной растительности в бассейне озера Саган-Нур, что подтверждается высокими значениями индекса отношения древесной пыльцы к недревесной (AP/NAP) и пониженными значениями лесо-степного индекса SFI (рис. 34).

Обилие в донных отложениях пыльцы сосны обыкновенной и сосны сибирской свидетельствует о том, что оба вида сосен уже были широко распространены в нижележащих поясах растительности Восточного Саяна, также, как и береза.

Вблизи озера Саган-Нур, напротив, характер растительного покрова отличался низкой залесенностью. Доля пыльцы древесной растительности в это время составляет лишь половину от общего спектра. Это указывает на то, что на протяжении раннего голоцена в котловине озера Саган-Нур произрастали лиственничные редколесья с примесью ели, вероятно по долинам ручьев.

Индекс соотношения темнохвойных к светлохвойным древесным имеет низкие значения, предполагая низкое участие в составе лесной растительности влаголюбивых древесных (рис. 34).

Отсутствие в СПС, сформированных 8 600-7 500 кал.л.н., устьиц хвойных растений служит косвенным доказательством редколесного характера локальной древесной растительности.

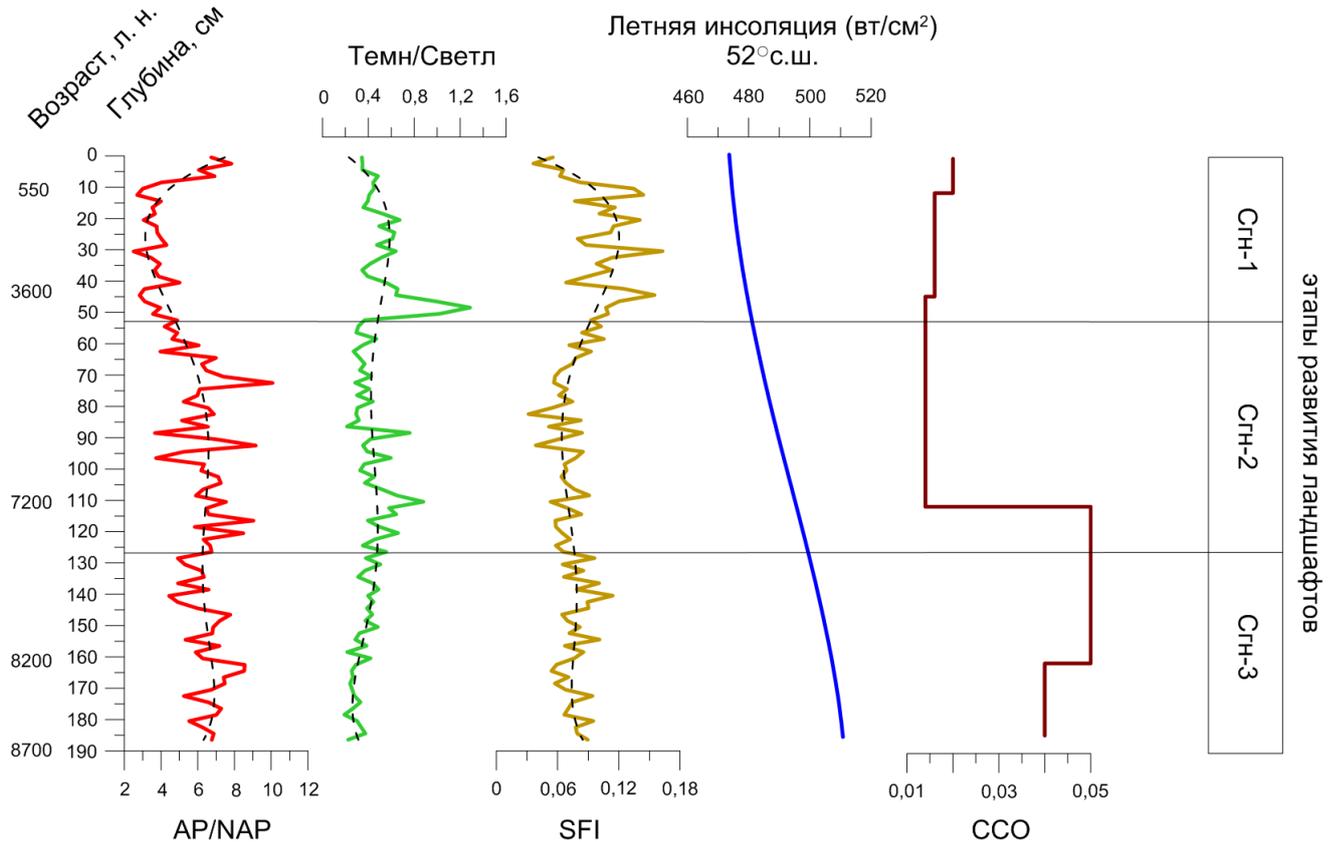


Рисунок 34. Изменение избранных палинологических индексов природной среды бассейна озера Саган-Нур, на основе пыльцевой записи в сравнении с поступлением летнего тепла на широту Восточного Саяна согласно (Berger, Loutre, 1991).

Пунктирные линии в шкалах AP/NAP, Темн/Светл и SFI – полиномиальная аппроксимация данных (полином 5 степени). ССО – средняя скорость осадконакопления между датированными уровнями, выражена в см/год. То же верно для всех последующих графиков.

В котловине озера лиственничному редколесью с участием ели по долинам водотоков сопутствует ерниково-ольховниковый кустарниковый ярус. Береговая зона озера и склоны его котловины были покрыты остепненными группировками. В основном это сообщества полыни и маревых, а ближе к озеру – заболоченные осоковые группировки.

Исходя из реконструкции состава растительности в котловине озера Саган-Нур, а также низкого содержания микроостатков углей в отложениях, можно предположить, что в период времени 8 600-7 500 кал.л.н. климат в бассейне озера

был относительно холодным. Ель и лиственница являются породами, хорошо переносящими переувлажнение почвы, а также относительно низкие температуры воздуха, то же относится и к кустарниковым березкам и ольховнику. Развитие степных травянистых группировок, вероятно, указывает на теплые летние сезоны, высокий уровень солнечной летней инсоляции (рис. 34) и, в целом, резко континентальный климат.

В более поздний период времени, 7 500-3 100 кал.л.н. растительность в котловине озера приобретает сомкнутый лесной облик. Повышается роль лиственничных лесов, снижается обилие кустарников, сокращаются холодные и влажные обитания кустарниковой березки и ольховника. Повышающиеся значения индекса AP/NAP подтверждают более широкое распространение лесной растительности (рис. 34). В продолжительный период времени, примерно с 6 300 по 4 800 кал.л.н. происходит увеличение количества микроостатков углей в образцах, появление в спектрах пыльцы водных растений, устьиц хвойных растений. Одновременно, примерно с 6 300 кал.л.н. - к современности, реконструировано снижение роли ели.

Одной из причин подобных изменений могла стать перестройка гидрографической сети в центральной части Окинского плато и в бассейне оз. Саган-Нур. Известно, что в дополнение к атмосферным осадкам поступление талых вод от таяния мерзлоты и ледников также может играть ключевую роль в колебаниях уровня озер в раннем голоцене при высокой летней инсоляции (рис. 34), особенно в случае ледниковых озерных бассейнов на горных плато (Нои et al., 2021). Согласно исследованиям динамики ледников юга Восточной Сибири, предполагается что позднеплейстоценовые ледники могли полностью исчезнуть в среднем голоцене (Stepanova et al., 2019). Сокращение объема поступавших в оз. Саган-Нур талых вод приводило к меньшей водности рек, исчезновению временных водотоков, и, в итоге, сокращению влажных и прохладных долинных мест обитания для ели, тундровых сообществ из кустарниковых березок (Безрукова и др., 2022). Увеличение в то же время количества микроуглей и устьиц хвойных в образцах может свидетельствовать о том, что при таянии мерзлоты и ледников они

попадали в воды озера с талыми водами, стекающими со склонов Восточного Саяна. Увеличение уровня летней инсоляции могло обеспечивать прогрев прибрежной зоны озера и способствовать появлению высших водных растений ок. 6 000-5 000 кал.л.н.

Таким образом, можно предположить, что во время формирования отложений, соответствующих среднему и позднему голоцену, в бассейне озера Саган-Нур повысилась теплообеспеченность территории, что обусловило изменение характера растительного покрова котловины и бассейна озера.

На протяжении последних 3 000 кал.л.н. климатические условия в котловине озера Саган-Нур характеризуются уменьшением влажности и относительным потеплением. Это привело к расширению территорий, занятых степными травянистыми группировками из полыни, злаковых, по берегам – осоковых ассоциаций. Развитие последних предполагает снижение уровня воды в озере, появление переувлажненного заболоченного прибрежного субстрата. Значения индекса AP/NAP снижаются с повышением значений индекса SFI, подтверждая расширение степной растительности..

Среди древесной растительности постепенно увеличивается роль лиственницы, которая, вероятно, образовала сомкнутые лесные массивы на побережье озера. Роль ели вблизи озера сокращается. Возросшее число устьиц хвойных растений в отложениях последних 3 000 лет также указывает на повышение сомкнутости лесной растительности вблизи берегов озера.

Повышение обилия пыльцы сосны сибирской и сосны обыкновенной рассматривается как свидетельство приближения сосен к бассейну озера и поднятие их верхней границы по склонам гор.

Рост к современному времени общей концентрации пыльцы всех таксонов (рис. 25), включая деревья, кустарники и травы, также указывает на то, что растительность вблизи озера Саган-Нур и на Окинском плато, в целом, постепенно становилась более сомкнутой.

Высокое обилие в отложениях, сформированных в последние 3 000 лет, микроостатков углей указывает на то, что пожары, возможно, вызванные

постепенным снижением почвенного увлажнения из-за снижения слоя многолетней мерзлоты, стали постоянным явлением в регионе.

Исходя из суммы всех полученных данных, можно сделать вывод, что 8 600-7 500 кал.л.н. климат среднегорно-таежного пояса, в целом, был несколько холоднее и влажнее современного, что было благоприятным для существования в бассейне озера Саган-Нур ели и пихты. Однако позднее, в промежуток времени с 7 500 до 3 100 кал.л.н., теплообеспеченность территории постепенно возрастала, что приводило к таянию ледников на Окинском плато. Перестраивался гидрологический режим плато, изменялась роль древесных растений. Постепенно, к настоящему времени, происходило расширение лесного пояса на плато, а в бассейне озера Саган-Нур, усилилась роль лугово-степных трав. Климат стал более теплым и менее влажным, а почвенное увлажнение значительно снизилось из-за понижения слоя многолетней мерзлоты, что могло приводить к усилившимся пожарам.

5.2. Озеро Ильчир

Полученные нами более детальные, чем ранее (Maskau et al., 2012), пыльцевые данные из озера Ильчир позволяют реконструировать историю растительности и природно-климатических условий водосборного бассейна озера за последние почти 6 600 лет.

Состав СПС, повышенные значения индексов AP/NAP и пониженные – SFI свидетельствуют о значительном участии лесной растительности в бассейне озера Ильчир с середины голоцена, ок. 6 600-2 800 кал.л.н (рис. 35).

Широкое распространение сосен в средне- и низкогорно-таежном поясе ок. 6 600-2 800 кал.л.н. хорошо согласуется с их распространением в это время в горах всего Восточного Саяна, Алтая (Bezrukova et al., 2016; Maskau et al., 2012; Vlyakharchuk et al., 2007, 2019; Бляхарчук, 2011). Повышенное содержание пыльцы сосны обыкновенной, сосны сибирской и пихты по сравнению с их содержанием в поверхностных СПС предполагает более высокое, чем сегодня, положение верхней границы леса и ее приближение к бассейну озера Ильчир ок. 6 600-2 800 кал.л.н.

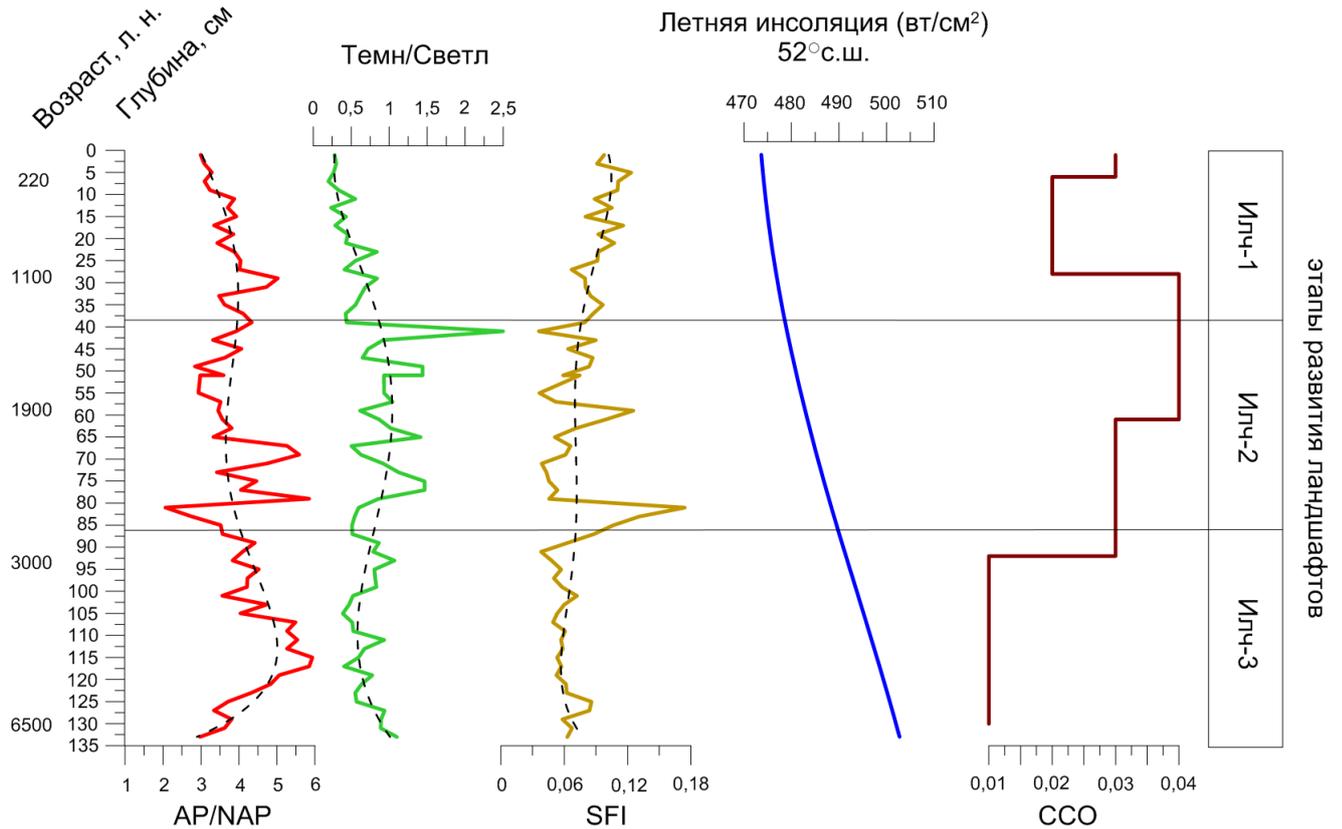


Рисунок 35. Изменение избранных палинологических индексов природной среды бассейна озера Ильчир, на основе пыльцевой записи в сравнении с поступлением летнего тепла на широту Восточного Саяна согласно (Berger, Loutre, 1991)

Обилие микрочастиц углей в этот период времени может служить косвенным подтверждением более густого растительного покрова, служившего биомассой для горения, в котловине и/или в бассейне озера, а также возможной активной эрозии в бассейне озера. Однако, относительно низкая средняя скорость осадконакопления (ССО, рис. 35) позволяет предполагать, что основной причиной поступления микрочастиц углей могли быть региональные пожарные явления. Плотный растительный покров мог продуцировать подходящую для горения биомассу.

Локальная растительность в этот период была представлена разнотравно-злаковыми луговыми группировками (возможно, как и сегодня, с преобладанием тимофеевки луговой), заболоченными тундровыми из березки кустарниковой, ивы с куртинками сфагновых мхов и небольшими островками древесной растительности из лиственницы, возможно, пихты, хотя отсутствие в отложениях их устьиц предполагает их отсутствие на побережье озера. Вероятно, в котловине

климат был умеренно-теплый с недостаточным увлажнением. Скорее всего, значительно более высокий, чем современный, уровень летней инсоляции (рис. 35) приводил к высокому испарению с поверхности почв в котловине озера, затрудняя распространение в ней древесных растений.

При этом, в 600-2800 кал.л.н. климат бассейна оз. Ильчир характеризовался более теплыми, чем современные, зимними сезонами и высоким снежным покровом, который не позволял промерзнуть почвам и поддерживал развитие пихты в бассейне озера Ильчир.

Однако постепенно повышающееся обилие пыльцы лиственницы в отложениях с 2500 кал.л.н. (рис. 26) предполагают постепенное усиление ее роли в составе локальной растительности склонов котловины озера и/или ее приближение к береговой линии озера от 2800 к 1400 кал.л.н.

Лиственница известна как древесная порода, которая хорошо приспособлена к существованию в холодном и недостаточно влажном климате (Щербаков, 1962). Расширение площадей лиственницы в бассейне озера Ильчир ок. 2800-1400 кал.л.н. может означать, что климатические условия этого времени стали более благоприятными для повышения конкурентной способности лиственницы, т.е., климат постепенно становился резко континентальным, более холодным. Похолодание, обусловленное снижением уровня летней инсоляции (рис. 35), вероятно, привело к формированию близко залегающего к поверхности слоя многолетнемерзлых пород, что очень неблагоприятно для пихты (Епова, 1960). Низкое обилие остальных древесных таксонов также свидетельствуют о развитии более изреженной, чем в предыдущий этап, древесной растительности.

Постоянное присутствие вокруг озера злаковых ассоциаций подтверждает вывод о высоком почвенном увлажнении в прибрежной зоне озера Ильчир.

Также в этот период повышаются значения средней скорости осадконакопления (ССО, рис. 35), что может быть обусловлено повышенным поступлением в озеро терригенного материала при изреживании растительности.

Снижение обилия микрочастиц углей в это время могло также являться признаком сокращения доступной для огня растительной биомассы и/или

повышения влажности почв и из-за пониженного испарения летом, поскольку летние сезоны стали холоднее (снижение уровня летней инсоляции, рис. 35).

Состав СПС, формировавшихся во второй половине позднего голоцена, в последние примерно 1 400 лет предполагает продолжающееся повышение континентальности климата, снижение среднегодовой суммы атмосферных осадков, особенно, в виде снега, который ранее предотвращал глубокое промерзание почв. Такие условия привели к полному исчезновению пихты в бассейне озера Ильчир и расширению площадей ели, а также тундровых ассоциаций из кустарниковой березки и заболоченных осоковых и сфагновых группировок, хорошо приспособленных к существованию на близко залегающих многолетнемерзлых породах (Bezrukova et al., 2005). Таяние многолетней мерзлоты обеспечивало высокое почвенное увлажнение летом, что позволяло ели существовать в долинах водотоков бассейна озера Ильчир. Однако отсутствие устьиц ели и постоянное присутствие устьиц хвой лиственницы предполагает, что в самой котловине озера ель не росла.

Повышение общей концентрации пыльца (рис. 27) также указывает на то, что в последние 1 400 лет вблизи озера Ильчир и его бассейне растительный покров стал более сомкнутым. Увеличение обилия растительности происходит несколько позднее, чем на территориях среднегорья, где активное развитие растительного покрова началось около 3 000 л.н.

Для последних 1 400 лет характерно наиболее высокое, относительно других временных интервалов, количество микрочастиц углей. Однако незначительные вариации значений пыльцы растительных таксонов свидетельствуют об отсутствии непосредственно в бассейне озера сильных и частых пожарных явлений.

Снижение уровня солнечной инсоляции в комплексе с влажными и холодными почвами, появлением мерзлоты также могло привести к снижению частоты и интенсивности пожаров вблизи озера. При этом таяние мерзлоты летом могло увеличивать плоскостной смыв терригенного материала в озеро, а вместе с ним и микрочастиц углей.

5.3. Озеро Шас-Нур

В интервале 3 000 – 670 кал.л.н. в бассейне и котловине озера Шас-Нур преобладала лесная растительность, представленная лиственничной тайгой с участием ели, что подтверждается высокими значениями общей концентрации пыльцы. Кустарниковый ярус в котловине озера формировал ольховник с участием березки кустарниковой и ивы (рис. 28). Травянистая растительность вблизи озера была представлена лугово-степными группировками, доминирующую роль в которых играли полынь, осоковые и злаковые.

Особенности аккумуляции в образцах угольных микрочастиц могли быть связаны с вулканической активностью, самая молодая фаза которой началась на территории Окинского плато около 1 600 кал.л.н. Наиболее сильные извержения этой фазы произошли 1 600-800 кал.л.н. (Ivanov et al., 2011; Shchetnikov et al., 2019; Аржанников и др., 2013). Мы предполагаем, что извержения спровоцировали пожары в регионе, увеличив количество привносимых микроуглей. Однако, значительного влияния на ландшафты в котловине озера Шас-Нур это событие не оказало, так как вулканы находятся на значительном удалении от изучаемых нами озер. Незначительная динамика концентрации устьиц хвойных растений в отложениях этого интервала времени подтверждает вывод о том, что вблизи озера сильных пожарных явлений не происходило, и растительность не подвергалась существенным изменениям.

Увеличение концентрации микрочастиц углей в донных отложениях озера Шас-Нур позднее 700 кал.л.н. хорошо соотносится с их обилием в донных отложениях оз. Номто-Нур и в торфянике Сенца, что свидетельствует об общих причинах их происхождения. Такими возможными причинами могли быть последствия извержений в последнюю установленную фазу вулканизма, а также появление человека в этом районе. Однако в донных отложениях озера Шас-Нур, в отличие от записей из озера Номто-Нур и долины реки Сенца, существенного изменения в обилии сордариевых грибов, являющихся важным маркером антропогенного воздействия, нет. Это приводит к выводу об отсутствии здесь существенного влияния человека на изменение растительного покрова.

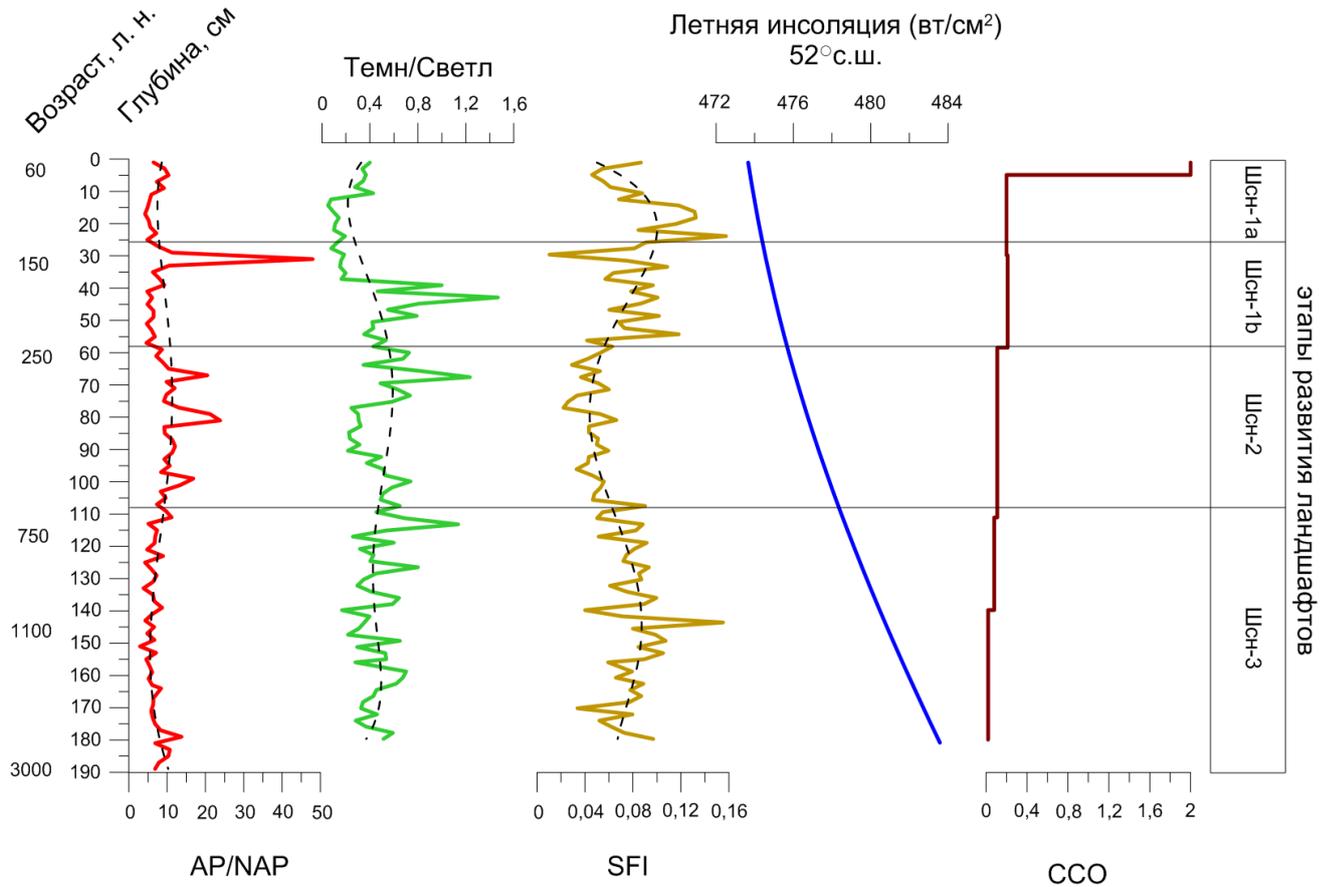


Рисунок 35. Изменение избранных палинологических индексов природной среды бассейна озера Шас-Нур, рассчитанных на основе пыльцевой записи, в сравнении с поступлением летнего тепла на широту Восточного Саяна согласно (Berger, Loutre, 1991)

Значительное повышение концентраций пыльцы (рис. 28-29) в интервале около 670-450 л.н. произошло одновременно с значимым снижением плотности отложений, повышением роли илистой фракции. Это означало поступление в озеро более крупного терригенного осадка вследствие усиления гидрологического режима озера. Вероятно, вместе с терригенным материалом в озеро могло поступать и повышенное количество пыльцы. С другой стороны, более турбулентный гидрологический режим мог быть связан с повышением суммы атмосферных осадков, приводившей к возникновению благоприятных условий для растительности. Косвенно это подтверждается и последовавшим расширением

еловых группировок, которые стали расселяться вдоль влажных долинных мест обитания.

Однако, может быть и другой вариант реконструкции, предполагающий сильное нарушение и изреживание растительности в бассейне озера пожарами (максимумы микрочастиц углей, рис. 28). Тогда, из-за снижения пыльцевой продуктивности локальной растительности, на поверхность почвы и воды могла в большом количестве попадать заносная пыльца сосен. При этом, следует отметить, что высокая концентрация пыльцы лиственницы (рис. 29) приводит к выводу о том, что пожары могли быть преимущественно низовыми, при которых больше выгорает травяно-кустарниковый ярус.

Пыльцевые данные (рис. 28) показывают, что позднее 700 лет в бассейне озера повысилась роль лугово-степного разнотравья (лютиковых, эфедры, василистника), поддерживая наш вывод о формировании необходимой для низовых пожаров растительной массы. В интервал времени около 450-270 л.н. продолжает преобладать древесная растительности и в бассейне, и в котловине озера Шас-Нур (рис. 35), что отражено и в повышении AP/NAP показателя и в снижении значений SFI. Реконструкции предполагают продолжающееся господство лиственничных лесов с небольшим участием ели, свидетельствуя о достаточном для нее местном почвенном увлажнении.

Позднее, примерно 270-120 кал.л.н., в составе лиственничных лесов вновь повысилась роль березы, скорее всего, быстро занимавшей послепожарные обитания. Усиление в локальной растительности роли ольховника и лугово-степных травянистых группировок, разброс значений AP/NAP, повышение значений индекса SFI и снижение – Темн/Светл поддерживает наш вывод о неустойчивом состоянии растительности, существовании в это время более разреженной чем ранее древесной растительности, что также предполагает и снижение концентрации пыльцы.

В последние примерно 120 лет в составе доминировавших лиственничных лесов усилилась роль березы. Характер растительности стал близок к современному. Увеличение значений пыльцы осок и спор хвощей может

свидетельствовать о развитии прибрежных заболоченных группировок при понижении уровня воды в озере.

Таким образом, реконструкции предполагают относительно устойчивое существование в котловине озера Шас-Нур холодных лиственных лесов с несколько меняющимся участием ели, березы. Значительные вариации концентрации микрочастиц углей наряду с изменениями в составе спорово-пыльцевых спектров, а, значит, продуцирующей их растительности, может свидетельствовать о важной роли пожаров в преобразовании растительного покрова.

5.4. Озеро Номто-Нур

Результаты изучения пыльцевых и непыльцевых палиноморф в отложениях керна оз. Номто-Нур позволили реконструировать следующую последовательность палеогеографических событий в бассейне озера в позднем голоцене.

Примерно 700 кал.л.н. вокруг озера и в долине реки Сенца господствовали лиственные леса. Такой вывод сделан исходя из известных закономерностей распространения и захоронения пыльцы лиственницы и значительного содержания устьиц ее хвои.

Пыльца сосны, так же, как и в записях других озер, характеризует региональную растительность, что подтверждается результатом СПА субрецентных спектров прибрежного ила озера.

Особенности распространения пыльцы ели (Bezrukova et al., 2005) предполагают существование в долине реки Сенца в это время долинных еловых лесов ленточного типа (рис. 30). Поскольку в современные периоды высоких весенних половодий, обычно, вода из реки начинает поступать в озеро Номто-Нур, то и 700 лет назад она могла приносить пыльцу ели в воды озера, которая затем аккумуляровалась в его донных отложениях.

Низкое обилие в СПС пыльцы березы древовидной, с учетом ее способности к дальней транспортировке ветром, позволяет утверждать, что береза, как и в

настоящее время, не произрастала вокруг озера. Сумма изложенных данных позволяет реконструировать умеренно-холодный и влажный климат, способствовавший развитию в бассейне озера Номто-Нур лесной растительности (относительно высокие AP/NAP, пониженные – SFI, рис. 36), преимущественно из лиственницы, но с заметным участием темнохвойных еловых ассоциаций (повышенные значения Темн/Светл).

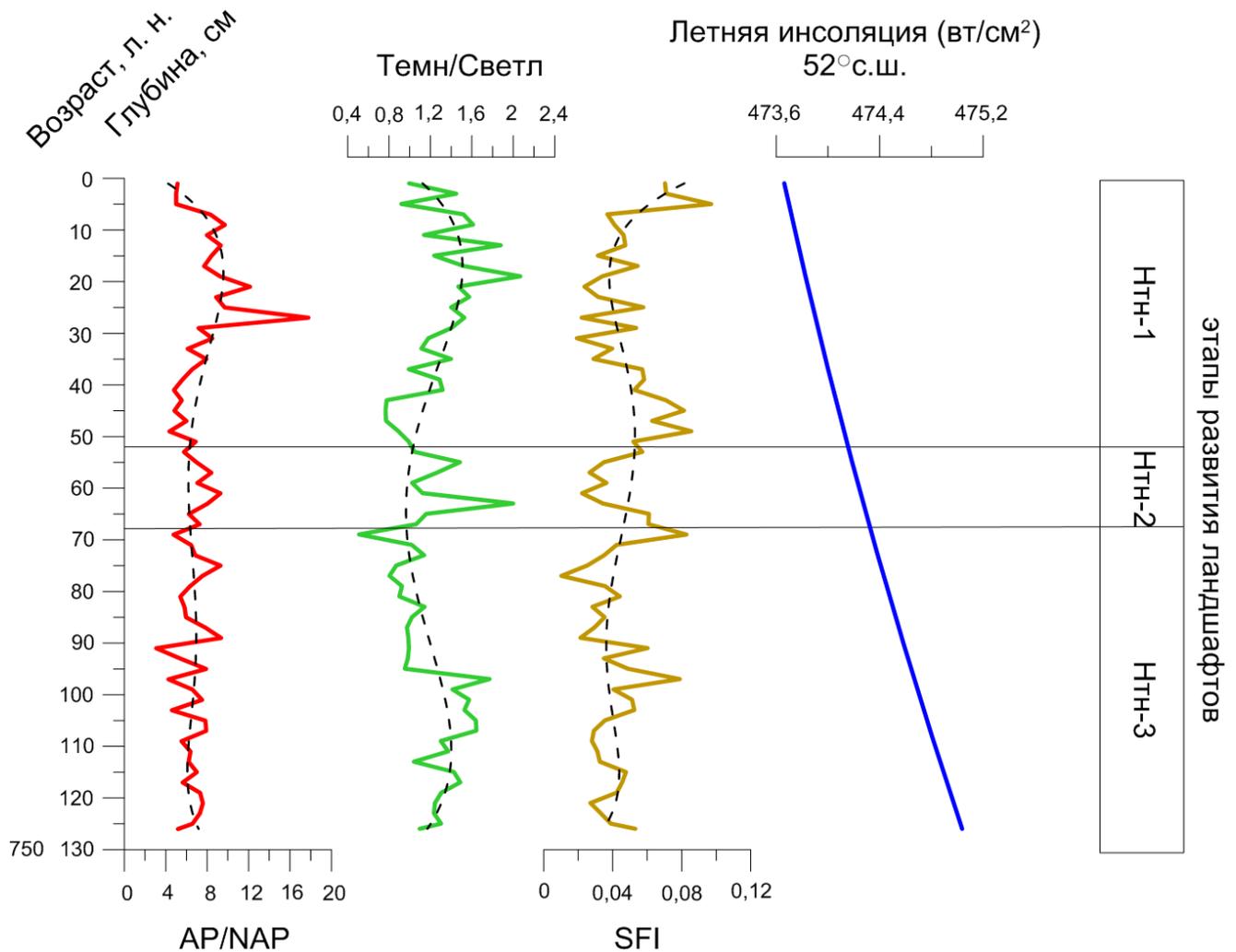


Рисунок 36. Изменение избранных палинологических индексов природной среды бассейна озера Номто-Нур, на основе пыльцевой записи в сравнении с поступлением летнего тепла на широту Восточного Саяна согласно (Berger, Loutre, 1991)

Согласно возрастной модели, около 700 кал.л.н. берега озера были сильно заболочены, о чем свидетельствует обилие пыльцы ивы и осоки (рис. 30). В озере

в это время накапливались светлые глинистые илы (рис. 22). Повышенное содержание $\text{SiO}_{2\text{биог}}$ и спокойная седиментационная обстановка создавали благоприятные условия для развития водорослей космариум, характерных для фитопланктона рек, озер, заболоченных обитаний. Состав пыльцы трав позволяет реконструировать развитие в теплые летние сезоны в долине реки и вокруг озера полынно-злаково-разнотравных группировок лугово-степного облика на хорошо прогреваемых повышенных местах обитания.

Высокие значения микрочастиц углей в интервале ок. 700-370 кал.л.н., совпадающие с реконструированным влажным и умеренно-холодным климатом этого времени, а также с эпизодом катастрофических паводков, позволяет предполагать, что такое высокое обилие угольков, скорее, принесено рекой в результате водной эрозии ее бассейна.

Позднее, около 440-370 кал.л.н. отмечаются существенные изменения в составе спектров. Резко возросшее обилие пыльцы ольховника и снижение – прочих таксонов, вероятно, указывает на катастрофическое событие. Эти изменения отражаются как в процентном соотношении таксонов (рис. 30), так и в общей концентрации пыльцы, особенно, в концентрации пыльцы лиственницы (рис. 31).

Согласно полученным результатам изучения магнитной восприимчивости (МВ) отложений озера Номто-Нур, сделано предположение, что отложения, вмещающие спектры подзоны Нтн-2, могли сформироваться не за 70 лет, как это показывает расчетная возрастная модель, а гораздо быстрее, например, за несколько лет.

Результаты измерения магнитной восприимчивости отложений в керне изменяются в интервале от 50 до 92 ед. СИ (рис. 37), означая относительно спокойный режим осадконакопления.

Однако в интервале глубин 58-76 см (зона Нтн-2, рис. 30) фиксируется их резкое и многократное повышение (Щетников и др., 2016), указывающее на значительный привнос в озеро терригенных отложений, который, вероятно, мог

произойти в результате паводка/серии паводков. Маловероятно, что вода размывала отложения, насыщенные именно пылью ольховника.

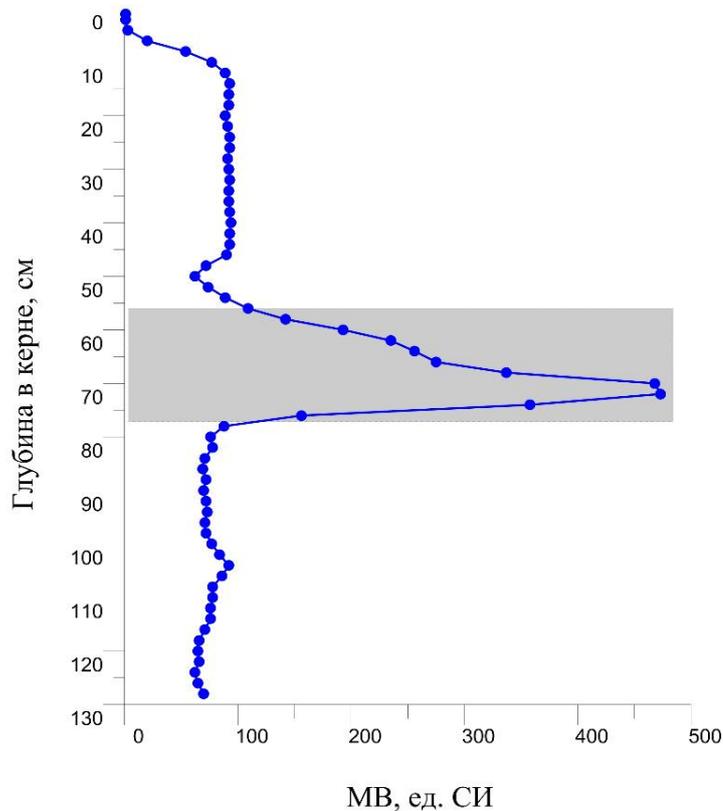


Рисунок 37. Изменение магнитной восприимчивости отложений озера Номто-Нур

Один из сценариев реконструкции может предполагать, что паводок или серия паводков повысили уровень воды в озере, приведя к расширению площади его поверхности и, соответственно, изменению береговой линии озера Номто-Нур. В результате этого события, заросли ольховника, которые и в современное время растут близко к линии воды на многих участках берега озера, могли быть подтоплены или оказались непосредственно у уреза воды. В сезоны цветения на поверхности озера оседало гораздо больше, чем ранее, пыли ольховника, которая затем аккумулировалась в его донных отложениях. Хотя, возможно, что часть пылевых зерен ольховника привносилось в отложения с паводковыми водами. Колебания соотношения темнохвойных/светлохвойных пород (рис. 36) вызвано увеличением привноса пыли сосны сибирской.

После прекращения интервала экстремальных паводков уровень озера понизился, заросли ольховника снова отделились от берега, что могло приводить к снижению количества поступавшей напрямую в воду его пыльцы и привносимой с окрестных территорий пыльцы сосны сибирской.

Другой вариант сценария реконструкции может предполагать, что во время неоднократно повторявшихся на протяжении нескольких лет паводковых сезонов происходил поверхностный смыв как пыльцы ольховника, так и микрочастиц углей в воды озера (рис. 30). Это следует из одновременного резкого повышения и обилия пыльцы ольховника, и микрочастиц углей.

В любом случае, активные паводки в долине реки Сенца свидетельствуют о наступлении снежных зимних сезонов наряду с гораздо более теплыми, и, возможно, ранними весенними сезонами, вместе приводившими к повышению притока воды в реки региона. Возрастная модель, основанная пока на одной датировке, не позволяет определенно судить о времени повышения уровня атмосферных осадков, а также более точно определить скорость осадконакопления в границах стратиграфических зон. Тем не менее, мы можем предполагать, что такие активные гидрологические условия существовали во время наступления влажного и прохладного климата малого ледникового периода, который рассматривается как самая значимая ледниковая стадия голоцена (Deline et al., 2023).

Результаты измерения МВ для отложений, формировавшихся позднее расчетных 370 кал.л.н., свидетельствуют о том, что значительных паводковых событий не происходило, и процесс осадконакопления в озере Номто-Нур проходил в относительно спокойном режиме озерной седиментации, что предполагает литологическое строение отложений и их физико-химические характеристики (устойчивые значения плотности отложений, снижающееся содержание общего органического вещества LOI и SiO₂ биог, рис. 22).

В локальной растительности продолжали преобладать лиственничные леса, долинные ельники. Вблизи береговой линии озера существовали ивовые и ольховниковые кустарниковые группировки. Несколько повышенные содержания

пыльцы лугово-степного разнотравья предполагают более широкое, чем ранее, распространение открытых обитаний. Изреживание локальной лесной растительности подтверждается и резким снижением количества встреченных устьиц хвой лиственницы. Повышение значений индекса AP/NAP обусловлено распространением в водосборном бассейне озера Номто-Нур заносной пыльцы сосны сибирской и обыкновенной.

Сокращение обилия пыльцы осок одновременно с увеличением обилия пыльцы верескоцветных и спор сфагнома позволяет реконструировать понижение уровня грунтовых вод, затухание процесса заболачивания в долине реки Сенца и вокруг озера Номто-Нур, что хорошо соотносится с отсутствием значительных паводковых явлений в последние примерно 370 лет.

Вся сумма аналитических данных поддерживает вывод о наступлении более аридного и, возможно, более холодного, чем ранее, климата. Более аридные условия могли приводить к снижению водной эрозии в бассейне реки Сенца, приводя к пониженному поступлению в пойменные озера, такие как Номто-Нур, микрочастиц углей (рис. 30). Постоянное присутствие в отложениях последних 370 лет спор копрофитных грибов может указывать на присутствие в долине реки Сенца травоядных животных. Возможно, это могло быть следствием развития скотоводства местным населением. Снижение заболоченности береговой линии озера также сделало его более доступным местом водопоя для животных (Волчатова и др., 2024).

Понижение в этот же период времени до минимальных значений концентрации устьиц хвойных растений и пыльцевых спектров локальных таксонов указывает на то, что непосредственно вблизи озера Номто-Нур лесная растительность приобрела разреженный характер. При этом, повышенная концентрация пыльцы лиственницы (рис. 31) может предполагать ее расширение в долине реки Сенца.

Полученные данные пыльцевой стратиграфии указывают на то, что растительность вокруг озера Номто-Нур развивалась без резких изменений в ее составе. В бассейне озера Номто-Нур за последние 700 лет преобладала лесная

растительность, в составе которой господствовали разреженные лиственничные леса с участием долинных ельников с ольховниково-березовых кустарниковым ярусом и значительным развитием травянистых лугово-степных группировок.

Реконструированной особенностью развития растительного покрова в долине реки Сенца, вокруг озера Номто-Нур является постепенное снижение доли древесной растительности за счет сокращения или изреживания лиственничных древостоев, хотя в последние несколько десятилетий реконструировано расширение или повышение сомкнутости лиственничных лесов. Расширение группировок из папоротникообразных, плаунов и мхов частично могло быть следствием водного переноса спор рекой Сенца, одновременно поддерживая вывод о некотором изреживании региональной растительности (Волчатова и др., 2024).

5.5. Долина реки Сенца

В финале среднего голоцена и до середины позднего голоцена, в интервале времени около 4 720-1 700 кал.л.н., на месте торфяника существовал мелкий озерный водоем или старица, в котором накапливались серовато-коричневые глины (рис. 23). Низкие значения общей концентрации пыльцы и пыльцы основных лесообразующих пород (рис. 33) указывают на довольно разреженный характер растительности вблизи места отбора торфяных отложений, существовавший на протяжении всего исследованного отрезка времени.

В долине реки Сенца преобладала лесная растительность, в составе которой доминировали елово-лиственничные леса и редколесья. Обилие пыльцы ели позволяет предполагать, что долинные ельники произрастали гораздо ближе к изученному разрезу, чем позднее. В локальной растительности вблизи разреза Сенца преобладали лиственничные леса с подлеском из березок, ивы. Максимальные содержания устьиц хвои лиственницы в отложениях этого временного интервала свидетельствует о ее произрастании вблизи торфяника Сенца. Повышенные концентрации пыльцы обеих сосен в это время могут быть следствием или их приближения к бассейну среднего течения долины реки Сенца

или повышенной аккумуляции их пыли на фоне разреженности местной растительности.

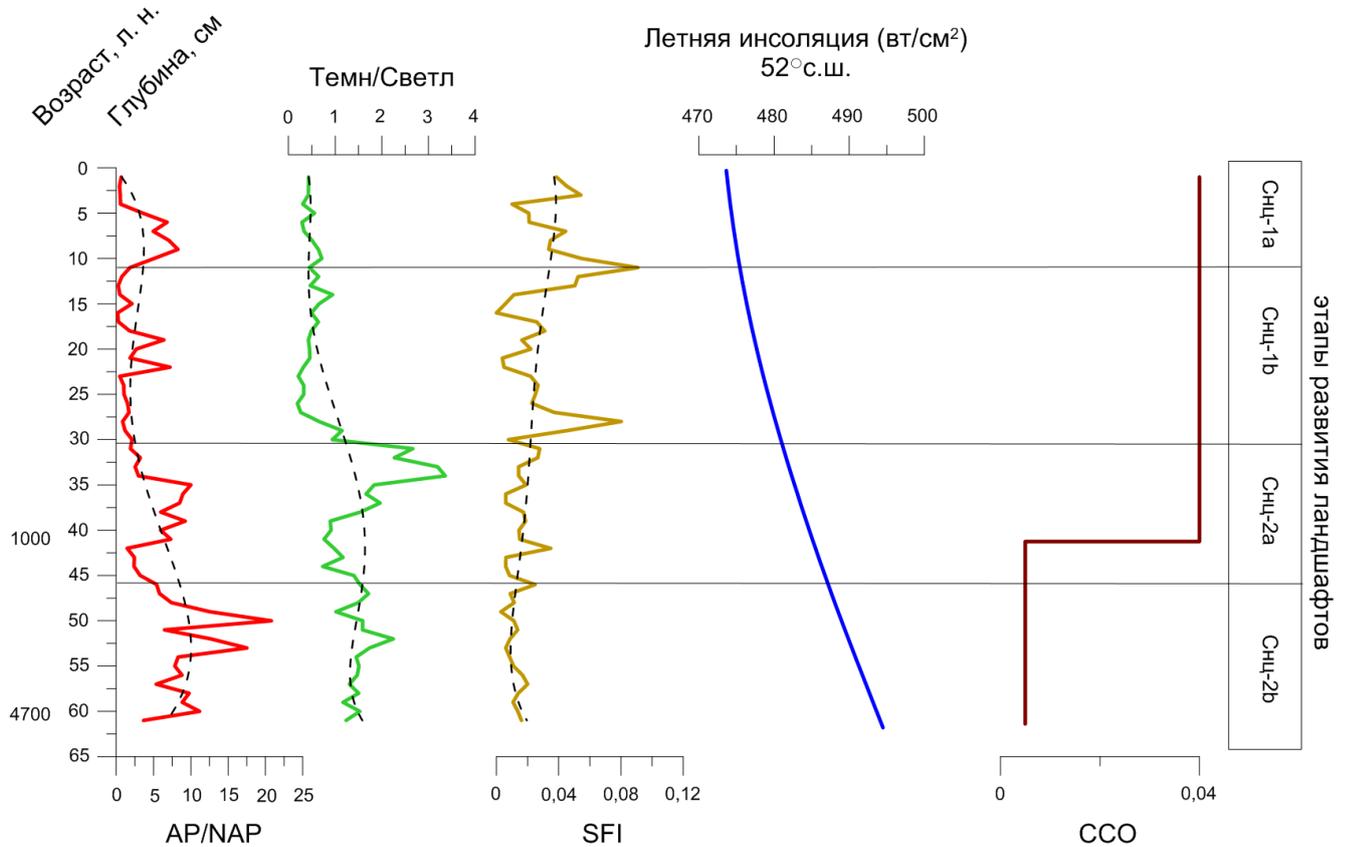


Рисунок 38. Изменение избранных палинологических индексов природной среды торфяника долины реки Сенца, на основе пыльцевой записи в сравнении с поступлением летнего тепла на широту Восточного Саяна согласно (Berger, Loutre, 1991)

Высокие значения индекса AP/NAP подтверждают предположения о господстве в долине реки Сенца лесной растительности на протяжении примерно 2 800 лет, тогда как индекс SFI в этот период времени имеет низкие значения, указывая на небольшую роль степной растительности (рис. 33).

Состав реконструированной растительности предполагает существование умеренно-холодного и влажного климата, который не был благоприятен для возникновения интенсивных пожаров. Наряду с климатическими условиями, возможно и отсутствие в этот интервал времени в долине реки Сенца человека также было благоприятным фактором для поддержания лесной растительности.

В период времени около 1 700-700 кал.л.н. в составе растительности долины реки Сенца продолжали преобладать леса, но их роль частично сократилась (понижение AP/NAP, рис. 38), в основном за счет уменьшения роли ели. Одновременное расширение травяно-кустарниковой растительности из березок, ивы, сфагново-осоковых ассоциаций предполагает развитие процесса заболачивания в долине реки, что могло быть важной причиной гибели долинных ельников, которые не выносят застойного увлажнения. Предполагается, что заболачивание было вызвано активизацией новейшей вулканической деятельности на Окинском плато (Ivanov et al., 2011, Аржанников и др., 2013), подпруживанию части ее русла. Это обусловило установление застойного гидрологического режима в нижней части долины Сенца, привело к интенсивному заболачиванию ее днища (Щетников и др., 2016).

Новейший этап вулканической деятельности на Окинском плато обусловил, в конечном счете, значительную деградацию еловых лесов в долине реки Сенца.

Самый молодой этап развития природной среды в долине реки Сенца, согласно расчетному возрасту, начался около 700 кал.л.н., то есть, после завершения активной фазы вулканизма на Окинском плато (Shchetnikov, Bezrukova, Krivonogov, 2019). Резкое изменение процентного содержания палиноморф предполагает наличие перерыва в осадконакоплении около 700 кал.л.н. Возможно, причиной перерыва могло стать наводнение, вероятно, разрушившее часть торфяной толщи.

После перерыва в районе изученного разреза реконструировано преобладание лиственничной тайги с небольшим участием ели по долине реки. В травяном покрове болота/заболоченного луга доминировали злаково-осоковые группировки.

В последние несколько десятков лет состав СПС показывает широкое развитие злаковых сообществ в долине реки Сенца, скорее всего, из-за смены режима увлажнения или нарушения растительности в результате выпаса крупнорогатого домашнего скота и лошадей местным населением вокруг расположенных недалеко от торфяника летниках.

Появление значительного количества микроостатков углей в осадках подзон Снц-1а и Снц-1б может, с одной стороны свидетельствовать о потеплении климата, развитии густой растительности, являющейся основой для горения и, соответственно, возникновении пожаров в долине реки. Но, с другой стороны, по данным археологических исследований, люди появились в горных районах Восточного Саяна уже в эпоху неолита. На этой территории в разное время жили самоедские и тюркоязычные народы. Людьями активно использовались лесная и подгольцовая зона Саян, расположенная на юго-востоке района, велось скотоводческое хозяйство, происходило остепнение долин рек, альпийских лугов (Ташак, 2022).

Таким образом, можно предполагать, что резкое изменение в составе СПС разреза Сенца может иметь и антропогенный характер. Снижение обилия древесной пыльцы, в том числе пыльцы сосны сибирской, может являться следствием вырубki древостоя и последующего выжига для освобождения земель, что обосновывает третье защищаемое положение о начале антропогенного воздействия на региональные ландшафты гор Окинського плато, начиная примерно с 600 кал.л.н.

Почти постоянное присутствие в СПС верхних слоев торфяника (верхние 23 см, моложе 600 кал.л.н.) спор копрофитных грибов рода содариевых свидетельствует о присутствии в долине реки Сенца крупных травоядных животных, подтверждая наше предположение о развитии в это время скотоводства (Волчатова и др., 2024).

Исходя из суммы данных, для донных отложений озер Ильчир, Номто-Нур, Саган-Нур, Шас-Нур и торфяных отложений из долины реки Сенца можно сделать вывод, что в высокогорном поясе растительности Окинського плато в среднем-позднем голоцене преобладали лесной и тундровый типы растительности в условиях умеренно-холодного и более влажного, чем современный, климата. Достаточное увлажнение почв для произрастания древесных растений было обеспечено, главным образом, за счет постепенной деградации слоя многолетнемерзлых пород. Сосна обыкновенная и сибирская в этот интервал, т.е., в последние 8 600 лет не

достигали высокогорной зоны (бассейн оз. Ильчир) и не становились лесообразующими породами в бассейнах остальных озер среднегорно-таежной зоны.

Проведенные реконструкции показывают, что максимально благоприятные условия для темнохвойно-таежного типа растительности с гораздо большим, чем в настоящее время, участием ели и пихты в более влажном климате в среднегорной части Окинского плато имели место 8 600-6 000 кал.л.н. Позднее 3 000 кал.л.н. похолодание климата способствовало развитию в среднегорном поясе светлохвойно-таежного типа с господством лиственничных лесов, а в высокогорном поясе (котловина озера Ильчир) – тундровой, степной и лесотундровой растительности.

Результаты палинологического анализа предполагают начало антропогенного воздействия на региональные ландшафты гор юга Восточной Сибири с 600 кал.л.н. Для высокогорной зоны в отложениях среднего и позднего голоцена не найдено четких признаков антропогенной деятельности.

5.6. Реконструкция биомов Окинского плато в голоцене по данным спорово-пыльцевого анализа

При составлении таксон-биомной матрицы и расчете весов биомов автор опирался на работу S. Müller et al. (2010), где определены таксоны и функциональные типы растительности для биомов, наиболее близких для высокогорных районов Восточной Сибири. Результаты анализа приведены на обобщающем рисунке 39.

В настоящее время, как уже было упомянуто ранее в тексте работы, на территории исследования преобладают холодные лиственничные леса и редколесья, занимающие склоны гор и долины рек, а также тундровая растительность. Вместе с лиственницей в растительном покрове встречается береза. Кустарники (березка кустарниковая, ольховник) образуют подлесок в лиственничных лесах или самостоятельные группировки. Сосна обыкновенная растет на гораздо более низких гипсометрических уровнях и начинает встречаться

на склонах гор вдоль шоссе Слюдянка-Орлик примерно в 100-150 км от территории исследования. В долинах рек Ока, Сорок, Сенца в пределах среднегорно-таежного пояса встречаются полосы долинных ельников, существование которых в регионе поддерживается более влажными локальными условиями.

Вероятно, биом тайги имеет самые высокие баллы из-за очень высокой пыльцевой продуктивности сосен, особенно сосны обыкновенной. Даже в составе субрегентных спорово-пыльцевых спектров высокогорного пояса тундровой и лесотундровой растительности (озеро Ильчир, рис. 15) пыльца сосен в сумме составляет от 40 до 50 % от общего состава всей пыльцы наземных растений.

Поэтому, мы предлагаем рассматривать биом тайги как показатель состава региональной растительности, а остальные биомы – как показатели субрегиональной и локальной растительности, что соответствует составу современной растительности, где доминируют лиственничные леса и редколесья на холодных, часто мерзлотных почвах. При этом биом тундры остается со-доминантом.

Расчет оценок (баллов) биомов для бассейна каждого изученного озера и для торфяника Сенца и проведенные на этой основе реконструкции динамики биомов показали, что господствующим биомом везде был таежный. За ним следует биом холодного лиственного леса. Во всех реконструкциях к баллам биома холодного лиственного леса близки баллы биома тундры. Наименьшие баллы имеет биом степи, отражая распространение в основном на наиболее прогреваемых склонах и сухих участках речных долин.

Для более глубокого понимания возможных причин изменения природной среды региона проведено сравнение реконструированных биомов изученной нами части Окинского плато с изменениями уровня летней и зимней инсоляции, поступающей на 55° с. ш. (Laskar et al., 2004), с записью изотопов кислорода из ледового ядра GISP2 (Svensson et al., 2008), как индикатора изменения температуры в Северной Атлантике (С) и из сталагмита D4, пещера Донге, Китай (Yuan et al., 2004), как индикатора интенсивности тихоокеанского (летнего) муссона, нанесенных по оси времени (рис. 39).

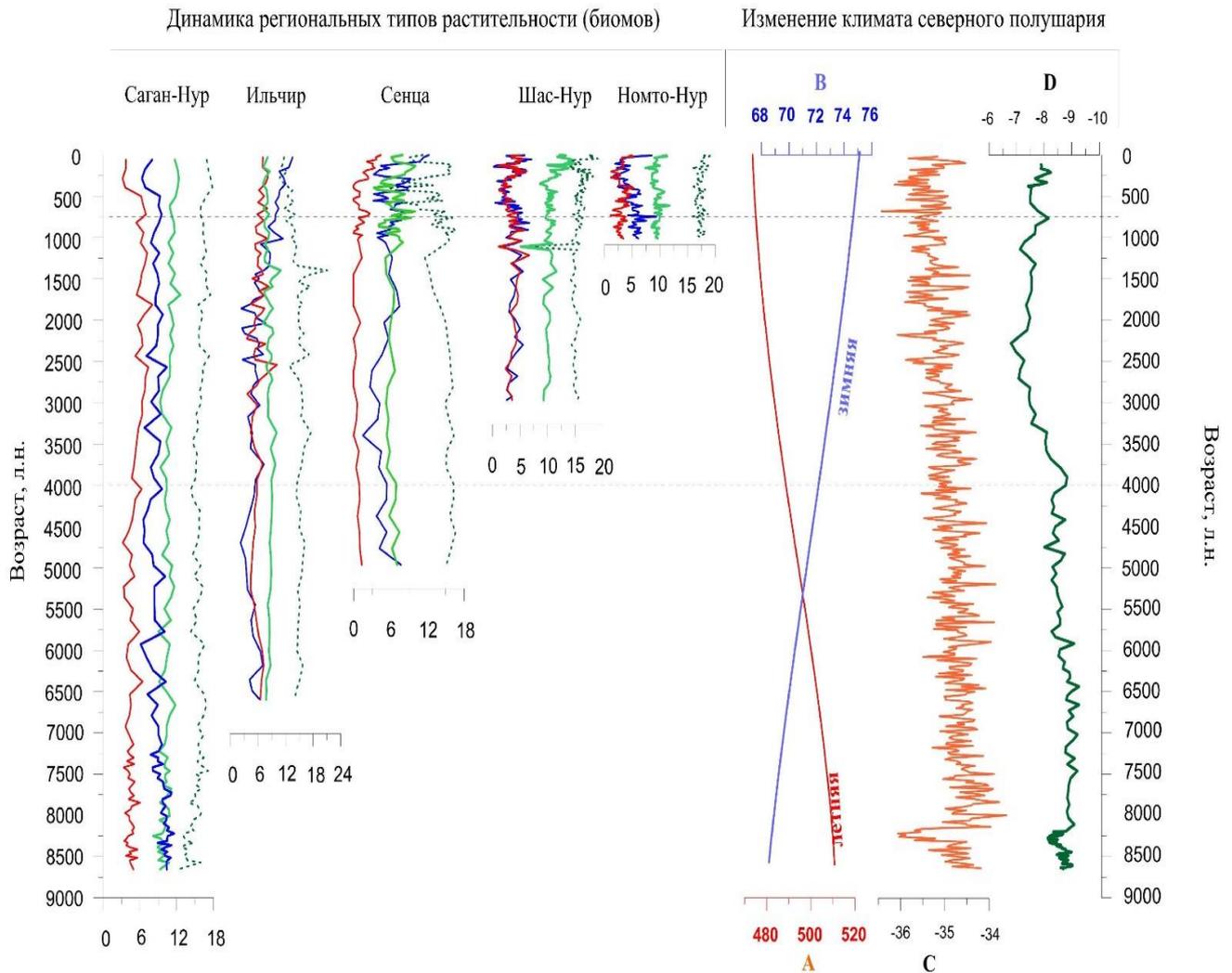


Рисунок 39. Обобщающая диаграмма изменения характерных региональных биомов: степи, тундры и холодного лиственного леса

А – изменение уровня летней инсоляции ($\text{вт}/\text{см}^2$), В – изменение уровня зимней инсоляции ($\text{вт}/\text{см}^2$), С – изменение температуры в Северной Атлантике (промилле, ‰), D – индикатор интенсивности тихоокеанского (летнего) муссона (промилле, ‰). Горизонтальными пунктирными линиями отмечен период снижения активности восточно-азиатского летнего влажного муссона.

В шкалах биомов красный цвет соответствует биому степи, синий – тундры, светло-зеленый – холодному лиственному лесу, темно-зеленый (пунктирные линии) – биому тайги.

В среднегорном поясе Окинского плато реконструкции показывают мозаичный характер растительности в интервале 8 600-7 500 кал.л.н. (рис. 24, озеро Саган-Нур).

В конце раннего голоцена в бассейне оз. Саган-Нур реконструировано почти равное распространение биомов тундры и холодного лиственного леса, тогда как влияние биома тайги снижено. В это же время предполагается относительно низкий уровень зимней инсоляции и пониженные значения температуры воздуха в Северной Атлантике (рис. 39), что могло приводить к холодным зимним периодам и произрастанию в котловине озера Саган-Нур морозостойких древесных пород. Высокий уровень летней инсоляции, вероятно, характеризует теплые летние периоды, способствовавшие постепенному развитию растительного покрова в целом.

В начале среднего голоцена климат все еще носит резкоконтинентальный характер, однако амплитуда колебания температур становятся менее широкой. Около 7 200 кал.л.н. начинает снижаться роль биома тундры и увеличиваться роль биома тайги. Разница между летней и зимней солнечной инсоляцией сокращается. Увеличиваются значения индикатора интенсивности тихоокеанского (летнего) муссона, означая его отступление и преобладание западного переноса. Характер растительного покрова постепенно изменяется, усиливается роль лесной растительности в котловине озера.

Позднее 4 000 кал.л.н. реконструировано расширение степной растительности с сохранением доминирования биома холодного лиственного леса. Расширение биома степи происходило параллельно с затуханием активности восточно-азиатского летнего влажного муссона (рис. 39, D). Такое соответствие подчеркивает сложный характер взаимосвязи основных центров глобальной атмосферной циркуляции и их влияния на природные условия континентальных регионов.

Последние 700 лет характеризуются усилением биома тайги и снижением роли биомов степи и тундры, возможно, означая расширение лесной растительности. Более теплые зимние периоды с высоким уровнем солнечной

инсоляции и относительно холодные летние способствуют произрастанию лиственничного леса.

Анализ реконструированной динамики биомов в высокогорной зоне Окинского плато показывает, что биом холодного лиственного леса был доминирующим в котловине озера Ильчир с 6 500 кал.л.н. и до почти 1 000 кал.л.н.

Примерно с 1 000 и по 700 кал.л.н. постепенно увеличивается роль биома тундры, предполагая постепенно прогрессирующее похолодание от среднего к позднему периоду голоцена в соответствии с постепенным снижением поступающей на широты Восточного Саяна летней инсоляции (рис. 39, А) и температуры воздуха в Северной Атлантике (рис. 39, С). Позднее 1 000 кал.л.н. биом тундры становится господствующим в котловине озера Ильчир.

В долине реки Сенца реконструирована примерно сходная динамика изменения биомов с их динамикой на территории высокогорного озера Ильчир. Примерно до 1 800 кал.л.н. в долине господствовал биом холодного лиственного леса, после чего происходило постепенное усиление роли биома тундры.

Параллельное усиление роли биома тундры с биомом степи, особенно в последнее столетие, вероятно, могло быть следствием сведения человеком части лесов или интенсивного таяния многолетнемерзлых пород, заболачивания и освоение таких холодных заболоченных участков тундровыми ассоциациями (см. главу 5.5.).

В котловине озера Шас-Нур наблюдается постоянное доминирование биома холодного лиственного леса. Баллы биомов степи и тундры находятся примерно в равных значениях, демонстрируя схожие тенденции. Существенных изменений в соотношении биомов в котловине озера Шас-Нур не происходит на протяжении всего изученного периода, не считая кратковременного изменения значений всех биомов примерно 1 200 л.н. В это же время реконструированы изменения интенсивности тихоокеанского (летнего) муссона, что также подтверждает влияние на природные условия региона глобальной атмосферной циркуляции. В это время, согласно Steinhilber (2012), ок. 1 300-1 200 л.н. имел место известный гранд-минимум инсоляции (Steinhilber et al., 2012).

Для озера Номто-Нур, отражающего развитие растительного покрова за последние примерно 700 лет, реконструирован похожий характер изменения биомов, что и для озера Шас-Нур.

Для всех исследованных объектов реконструировано доминирование практически на всем протяжении исследованного времени биома холодного лиственного леса. Можно также отметить, что наиболее явные изменения в развитии растительных биомов происходят в последние 1 000 лет, хотя и имеют разную направленность. В бассейнах озер Номто-Нур и Шас-Нур, а также торфяник Сенца, являющихся элементами одной гидрологической сети, к настоящему времени видно усиление биома степи, тогда как значения этого биома для озера Ильчир практически не изменяются, а для озера Саган-Нур снижаются. Это хорошо демонстрирует, что локальные природно-климатические условия индивидуальных экосистем, могут формировать отличные от других условия развития растительного покрова.

Таким образом, был проведен палинологический анализ пяти природных объектов: донных отложений четырех озер (Ильчир, Номто-Нур, Саган-Нур, Шас-Нур) и торфяных отложений из долины реки Сенца. Все исследованные экосистемы располагаются на территории Окинского плато, что позволяет использовать полученные палинологические данные и проведенные на их основе реконструкции для формирования выводов о истории развития природных условий плато. Результаты применения комплекса методов: палиностратиграфического и биостратиграфического, а также магнитной восприимчивости и анализа поверхностных проб озерных и торфяных отложений позволяют получить более надежные и обоснованные выводы о истории ландшафтов и климата как в бассейне озер и долине реки, так и на всем Окинском плато.

Полученные выводы также обосновывают второе защищаемое положение о том, что в высокогорном поясе растительности Окинского плато среднем-позднем голоцене преобладал северо-таежный тип растительности в условиях умеренно-холодного климата, а сосна обыкновенная и сибирская в этот интервал времени не достигали котловин изученных озерных систем.

5.7. Реконструкция растительного покрова Окинского плато

Для более наглядного представления истории развития растительности на исследованной территории Окинского плато полученные результаты комплексного анализа донных и торфяных отложений изученных экосистем: озер Ильчир, Номто-Нур, Саган-Нур, Шас-Нур и торфяника в долине реки Сенца были обобщены и представлены в виде таблицы 4.

При обобщении результатов мы исходили из полученного нами вывода о том, что пыльцу сосны сибирской и сосны обыкновенной, а также березы следует рассматривать как региональные компоненты пыльцевого дождя, привнесенные в изученные отложения за десятки-сотни километров.

Пыльца лиственницы, ели и пихты формирует субрегиональный/локальный компонент спектров, не разносимый ветровыми и водными потоками далеко за пределы продуцирующих их деревьев. На основе этих выводов, сформирована общая картина развития растительности таблица 4.

Результаты показывают, что в среднегорно-таежном поясе Окинского плато, а именно, в бассейне и котловине оз. Саган-Нур и в долине р. Сенца, где расположены остальные озера и торфяник Сенца, с финала раннего голоцена и до второй половины позднего голоцена преобладала лесотундровая и лесная растительность.

Лесотундровую растительность формировали кустарниковые тундры из березок, ольховника и ивы с участками лиственничных редколесий. На склонах южной экспозиции и на возвышенных участках в долине реки Сенца в летние сезоны широко распространялись травяные сообщества лугово-степного облика. Основу лесной растительности составляли лиственничные леса и редколесья, с редкими долинными ельниками.

Начиная со второй половины позднего голоцена в среднегорно-таежном поясе Окинского плато стали преобладать сомкнутые лиственничные леса с редкими долинными ельниками. Однако роль лесотундровой растительности осталась значительной.

Таблица 4 – «Сравнение характеристик растительного покрова изученной части Окинского плато»

| | Озеро Саган-Нур | Озеро Ильчир | Озеро Шас-Нур | Торфяник Сенца | Озеро Номто-Нур |
|------|--|---|--|--|--|
| 0 | | | Лиственный лес; ольховниковые заросли, лугово-степные группировки с участием осоковых | Лиственный лес; заболоченные осоковые обитания; расширение злаковых группировок | Лиственный лес; ивово- ольховниковые ассоциации и луговые группировки с участием полыни и осоки |
| 500 | | Лиственный редкостойный лес на склонах южной экспозиции; и осоковые группировки лугово- степное разнотравье | Лиственный лес с примесью ели и березы | Лиственный лес с редким участием березы, подлеском из березок, ивы; верескоцветные ассоциации | Лиственный лес с редкой примесью ели, березы |
| 1000 | | | | | |
| 1500 | Лиственный лес с редким участием ели и березы; лугово- степные группировки с участием злаков, полыни, осоковых | | Лиственный лес; ольховниковые ассоциации; лугово-степные группировки с участием полыни, осоковых, злаковых | Лиственный лес с подлеском из березок, ивы; осоковые, верескоцветные ассоциации | |
| 2000 | | Лесотундра из лиственницы с участием стланиковой пихты; разнотравно-злаковые и осоковые группировки лугово- болотного характера | | Лиственный лес с участием ели; подлесок из березок, ивы; болотное разнотравье | |
| 2500 | | | | | |
| 3000 | | | | | |
| 3500 | Преимущественно лиственный редколесье с участием ельников ленточного типа по долинам водотоков, кустарниковая тундра из березок, ольховника, ивы. | Тундровая с небольшими островками древесной растительности из лиственницы; разнотравно-злаковые луговые группировки | | | — |
| 4000 | | | | | |
| 4500 | | | | | |
| 5000 | | | | | |
| 5500 | | | — | | |
| 6000 | | | | | |
| 6500 | | | | — | |
| 7000 | | | | | |
| 7500 | Мозаичный растительный покров из ели и лиственницы; подлесок из березки, ольховника, ивы; степные травянистые полынно-м маревые группировки | — | | | |
| 8000 | | | | | |
| 8500 | | | | | |

В высокогорном поясе растительности Окинского плато, где находится котловина и бассейн оз. Ильчир, до второй половины позднего голоцена преобладала травяно-кустарниковая тундровая растительность с редкими островками лесотундровой растительности из островков лиственницы. Только начиная примерно с 1800 л.н. лиственница получила более широкое распространение, формируя, как, вероятно и в настоящее время, редкостойные леса в виде полос на склонах южной экспозиции.

Различный характер реконструированной растительности в пределах высокогорного и среднегорного поясов Окинского плато был обусловлен разными локальными гипсометрическими, топографическими, климатическими и гидрологическими условиями изученных котловин и бассейнов.

Характер реконструированной растительности позволяет предполагать, что климат финала раннего голоцена и первой половины среднего голоцена был относительно теплым, тогда как во второй половине среднего голоцена и первой половине позднего голоцена реконструировано его постепенное похолодание. Однако, с понижением температур воздуха снижалось и летнее испарение, что поддерживало достаточный для растительности высокий уровень почвенного увлажнения и способствовало распространению заболоченных осоковых местообитаний.

5.8. Сравнение реконструированной истории растительности и климатических изменений Окинского плато и соседних регионов

Сравнение палинологических записей из разных регионов позволяет выявить общие и различные закономерности и особенности формирования их природных условий, проследить региональные изменения климата, а также реакции на глобальные климатические события.

Для проведения сравнения были выбраны природные объекты территорий Российской Федерации, а также близкие к ее границам природные объекты на территории Китая и Монголии.

В 2006 г. Франком Шлютцем и Франком Лемкулем были представлены результаты исследования пыльцевых записей Чуйской впадины Российского Алтая. Материалом исследования стали отложения, отобранные в прибрежной зоне реки Тархата, и вскрытые торфяные залежи болота на территории хребта Курай. Относительная высота отбора проб составила около 2 210-2 330 м над уровнем моря (Schlutz, Lehmkuhl, 2006).

В результате палинологического анализа отложений было выявлено, что 6 500 кал.л.н. на территории хребта Курай господствовал теплый и влажный климат, благоприятный для распространения на его склонах лиственничных лесов с небольшими островками ели. Однако к 5 900 кал.л.н. реконструировано сокращение лиственничных лесов и увеличение роли кустарниковой растительности, из чего авторы делают вывод о наступлении более холодного и сухого климата.

Изменение климата и растительности около 5900 л.н. согласуется с выводами О.К. Борисовой (2014). о том, что после 5 000-4 500 л.н. глобальное потепление сменилось похолоданием, которое наиболее отчетливо проявилось в средних и высоких широтах Земли, вызвав изменения в составе и распространении растительных сообщество и активизацию горного оледенения (Борисова, 2014).

Близкое по времени проявление похолодания климата отмечается в работе Blyakharchuk et al., 2004, характеризующей историю растительного покрова на территории Улаганского плато, примерно в 90 км севернее Курайского хребта, где темнохвойная тайга из пихты и ели сократилась в результате похолодания около 6 500 л.н.

Сходные события восстановлены и по палинологических записях донных отложений озер Груша и Акколь (Blyakharchuk et al., 2007). Оба озера расположены на юго-западе республики Тыва. Высотная отметка уреза воды озера Груша находится на высоте 2 413 м над уровнем моря, озера Акколь – на высоте 2 204 м. Находясь в пределах Каргинской котловины, озера окружены хребтами и горными вершинами, что способствует формированию на территории котловины своего

микrokлимата, а их высокогорное месторасположение – отсутствию интенсивного антропогенного воздействия.

Пыльцевые записи из донных отложений этих озер показывают, что примерно с 8 200 до 6 600 л. н в горах Алтая в условиях теплого и влажного климата происходило расселение пихты со значительным участием ели. Позднее 6 500 кал.л.н. на фоне похолодания и иссушения климата в составе растительного покрова горного Алтая происходит существенное снижение роли этих пород.

В горах Восточного Саяна пихтовые и еловые сообщества в среднем голоцене имели незначительную роль в формировании лесной растительности. Наши реконструкции показали, что в среднегорно-таежном поясе Окинского плато пихта могла присутствовать в виде редкой примеси до примерно 6 500 л.н., но позже, общее похолодание постоптимального климата голоцена привело к ее отступлению на более низкие гипсометрические уровни. Эти результаты свидетельствуют об общей тенденции к снижению влажности климата на региональном уровне. Однако, более холодный и менее влажный климат Окинского плато, с его более глубоким внутриконтинентальным положением не способствовал распространению пихты, в целом.

По результатам изучения торфяных отложений болота Луговое, расположенного в среднегорном поясе Западного Саяна (природный парк «Урочище Ергаки»), на высоте 1 299 м над ур. м., примерно 6 000 кал.л.н. реконструировано преобладание пихтовых лесов с активным участием сосны сибирской (Бляхарчук и др., 2011). В качестве пыльцы дальнего заноса представлена сосна обыкновенная, произрастающая в удалении от территории болота Луговое. В низкогорном поясе Восточного Саяна в это время также широко распространялась сосна сибирская, затем уступая доминировавшей сосне обыкновенной.

В отложениях Южно-Буйбинского болота, расположенного на территории заповедника "Ергаки" в Западном Саяне, фаза господства лесов из пихты с примесью сосны сибирской длилась с 9 300 до 5 400 кал.л.н. В течении этого времени климат оставался достаточно влажным, способствуя распространению

пихты и крупнотравно-папоротникового напочвенного покрова. В то же время в низкогорьях близ Южно-Буйбинского болота развивались смешанные леса из сосны обыкновенной и березы (Blyakharchuk, 2020).

В котловине озера Толбо (Монгольский Алтай, 2079 м н. у. м.) ранний голоцен представлен холодным и засушливым климатом, в котором широкое распространение имели степные ассоциации с преобладанием полыни, амарантовых (*Amaranthaceae* Juss.), злаковых и осоковых таксонов. Однако с 9 400 кал.л.н. авторы реконструируют постепенное повышение влажности климата с повышенными атмосферными осадками, в результате чего в котловине распространилась лесная растительность из сосны, ели и березы (Hu et al., 2024).

На юге-востоке Тывы реконструирован влажный климат в среднем голоцене (Покровский, Панин, 2025). Согласно результатам исследования, постепенное увлажнение этих территорий происходило на протяжении раннего и среднего голоцена, достигнув максимума в период 5 500-4 400 л.н., после чего характер климата резко сменился на аридный вплоть до настоящего времени.

Теплый и влажный климат, благоприятный для распространения лесной растительности, также реконструирован в котловине Богуты. Керн торфяных отложений был отобран на высоте около 2 387 м н. у. м., в проксимальной части конуса выноса правого притока реки Богуты, и послужил основой реконструкции истории развития ландшафтов территории за последние 7 600 лет (Agatova, 2018). Для территории южного Алтая в результате исследования донных отложений озера Йилейму реконструировано существование влажного климата с обильными паводками до 2 300 кал.л.н. (Fan et al., 2022).

Результаты анализа донных отложений оз. Харлег (Ma et al., 2021) расположенного на Тибетском плато, указывают на период максимальной влажности климата примерно 8 000 л.н., после чего, в среднем голоцене увлажненность снижалась.

С 5 139 до 2 684 кал.л.н., в Каргинской котловине происходит замещение пихтового древостоя березовыми сообществами, как древесными, так и кустарниковыми (Blyakharchuk et al., 2007). В Чуйской котловине также показана

тенденция к увеличению роли кустарниковой растительности в это время (Schlutz, Lehmkuhl, 2006).

Записи донных отложений озер Саган-Нур, Ильчир и Шас-Нур Восточного Саяна, отражающих историю растительного покрова среднего-позднего голоцена, не показывают существенного расширения березовых сообществ. В условиях более холодного и континентального климата Окинского плато на протяжении выделенного периода времени березовые сообщества в составе растительного покрова постоянно доминировали над пихтой. Записи донных отложений озера Шас-Нур, датируемые от 4 200 л.н., показывают низкое значение березы и пихты из-за локальных природно-климатических особенностей его котловины. Палинологические записи из донных отложений озер Саган-Нур и Ильчир, соответствующие более ранним интервалам времени, от 8 600 и 6 500 лет и до современности, также не показали существенных изменений роли березы древовидной в составе растительности. В записях из озера Саган-Нур отмечается постепенное снижение роли кустарниковой березки от начала формирования отложений к современности. Вблизи озера Ильчир на протяжении всего исследованного периода присутствие кустарниковой березы отмечено слабо. Однако в целом существенного распространения кустарниковой растительности в данный период времени на территории Окинского плато не реконструировано.

Таким образом, замещение темнохвойного леса березовым или сосновым, происходящее в бассейнах озерных экосистем гор Западного Саяна и Алтая, является особенностью для этих горных систем, не нашедшим распространения на территории Окинского плато прежде всего из-за глубоко континентального и внутригорного положения плато, поскольку влагонесущие западные воздушные массы оставляют подавляющую часть атмосферных осадков на склонах гор Западного Саяна и окружающих само Окинское плато горных хребтов.

В отложениях Южно-Буйбинского болота интервал 5 400-1 100 кал.л.н. характеризуется снижением в лесах роли пихты и увеличением роли сосны сибирской (Blyakharchuk, 2020). С 2 680 л.н. и до современности происходило

расширение лесов из сосны сибирской в котловинах озер Груша и Акколь (Blyakharchuk et al., 2007).

На территории Окинского плато в это время сосна также была одной из господствовавших древесных пород в составе лесной растительности низкогорно-таежного пояса Восточного Саяна.

Находка в отложениях озера Верхние Богуты семени лиственницы возрастом ~8 300 лет подтверждает распространение древесной растительности в ныне безлесной Богутинской впадине (Agatova et al., 2018; Bronnikova et al., 2018; Непоп, Агатова, 2019; Непоп, Agatova, Uspenskaya, 2020) и сделанное ранее заключение об освоении древесной растительностью территорий ЮВ Алтая и ЮЗ Тувы, расположенных выше современной верхней границы леса, в первой трети голоцена (Назаров, Соломина, Мыглан, 2012; Ganyushkin et al., 2018; Agatova et al., 2021).

В долине реки Тархата, где проведена реконструкция изменения растительного покрова и климата за последние 2 000 лет, лиственница определена как основная лесообразующая порода, так же, как и для озер и торфяника Восточного Саяна. На территории хребта Курай распространение лиственницы произошло с 4 900 кал.л.н. Однако, к настоящему времени в Чуйской впадине постепенно происходит замещение лиственницы березой, как и в Каргинской котловине, или ее изреживание из-за болотно-луговых территорий. Вблизи Южно-Буйбинского болота в последнюю тысячу лет отмечается максимум сосны сибирской. В горах Восточного Саяна лиственница, напротив, остается одной из основных лесообразующих пород.

Реконструкции в верховьях реки Нарын-Гол указывают о существовании лесостепных ландшафтов в центре Убсурской котловины примерно 1 100 кал.л.н. В пределах ныне сухих степных ландшафтах долины Тес-Хем существовали лесостепные сообщества с участием лиственницы и сосны обыкновенной. Елово-лиственничные и злаково-осоковые сообщества, а также остепненные сосняки в средней части Убсурской котловины в позднеголоценовое время свидетельствуют о более мягких и влажных природно-климатических условиях этого региона.

Однако к настоящему времени климат данной территории стал более аридным, а в ландшафте стали преобладать полупустынные степи (Prudnikova, 2017).

В настоящее время в районе Богутинской котловины также преобладает горная степь с высотой сменяющаяся тундро-степной и тундровой растительностью. Авторы (Agatova et al., 2018) связывают это с колебаниями водности озерно-болотной системы, вызванными стадийными наступлениями горных ледников во второй половине голоцена, установленными для Юго-Восточного Алтая (Agatova et al., 2012; Agatova et al., 2014).

Реконструкции природных условий котловины озера Йилейму предполагают начало сурового продолжительного засушливого периода с 2 300 кал.л.н. по настоящее время, с редкими короткими эпизодами повышения влажности (Fan et al., 2022). В котловине озера Толбо (Монголия) постепенное повышение сухости климата реконструируется примерно с 4 500 кал.л.н., сопровождаясь постепенным сокращением лесов и распространением степей. Тенденция сохраняется вплоть до настоящего времени (Hu et al., 2024).

Реконструкции на основе комплексного анализа донных отложений из озера Цинхай (Китай) указывают на значительную аридизацию климата, начавшуюся с 2 500 л.н. (Liu et.al., 2007)

На территории Окинского плато также реконструировано сокращение лесной растительности за счет расширения лугово-степной (долина реки Сенца, котловина озера Ильчир), однако древесная растительность сохраняет значительную роль на этих территориях. Также, как и в Богутинской котловине, на облик растительного покрова Окинского плато в раннем и начале среднего периода голоцена влияло таяние ледников (оз. Саган-Нур), однако в конце среднего и в позднем голоцене это влияние прекратилось.

Таким образом, можно обобщить результаты палинологического анализа донных и торфяных отложений Восточного, Западного Саяна, Алтайских, Монгольских и Тибетских гор следующим образом.

Записи из высокогорных территорий изученных природных объектов подтверждают наш вывод о том, что начало среднего голоцена было наиболее теплым и влажным, с умеренно-континентальным климатом. В высокогорье Алтая и Западного Саяна в это время широко распространялись темнохвойные породы (пихта, ель). На Окинском плато из-за менее влажного и более континентального климата эти породы распространены не так широко.

В позднем голоцене в растительности Западного и Восточного Саяна резко снижается участие темнохвойных пород, что предполагает смену климата на более континентальный и засушливый. Сосна обыкновенная и сосна сибирская характеризует региональную растительность в горах Алтая и Саяна, так как встречается на территориях ниже 800 м н. у. м. во вторичных лесах вдоль рек и на песчаных почвах. Часто к региональной растительности относится и береза, также распространяющаяся на более гипсометрически низких склонах (Hu et al., 2024; Schlutz, Lehmkuhl, 2006).

Для всех приведенных территорий выявляется общая тенденция расширения степной и лугово-болотной растительности, что совпадает с сухими интервалами тысячелетних ритмов, выявленными для территории лесостепной зоны юга Западной Сибири по палинологическим данным (Левина, Орлова, 1993).

Общей чертой развития растительности высоко- и среднегорных территорий Восточного Саяна, Западного Саяна и Алтайский гор, в том числе Монгольского Алтая, в голоцене является постоянное доминирование в травянистом покрове полыни, злаковых, маревых, осоковых. В кустарниковом ярусе часто преобладает березка и ольховник.

На территориях, палинологический анализ которых приведен в данной работе, и публикациях других авторов, отмечены присущие для каждой из них особенные пути формирования растительного покрова из-за влияния региональных особенностей климата, высотного положения озерных и болотных экосистем, их приуроченности к различным экспозиционным аспектам и других региональных природных особенностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палинологический анализ датированных отложений современных озер и болот позволил выявить основные закономерности развития растительности и климата в голоцене на юге Восточной Сибири в пределах Окинского плато, а также сформулировать следующие научные выводы:

- субрецентные спорово-пыльцевые спектры из высокогорного пояса характеризуют растительность как регионального, так и более узкого, локального уровня;

- слабая способность к рассеиванию ветром пыльцы основной региональной лесообразующей древесной породы – лиственницы - и ее плохая сохранность в отложениях приводит к недооценке ее реального участия в современной растительности; в дальнейшей работе следует акцентировать усилия на исследовании соотношения пыльцы региональных древесных пород в поверхностных спектрах к их реальному участию в древостоях;

- реконструкции растительности и климата за последние 8 600 лет показывают, что климат среднего голоцена был наиболее теплым за изученный интервал времени и обеспечивал самое широкое развитие лесной растительности в горах Восточного Саяна;

- постепенное похолодание климата во второй половине среднего голоцена и первой половине позднего голоцена привело к отступлению верхней границы леса, постепенное замещение в локальных древостоях пихты и ели на лиственницу;

- повышение континентальности климата на протяжении большей части позднего голоцена в котловине и бассейне озер привело к расширению площадей лугово-степной и болотной растительности на склонах разной экспозиции изученной территории;

- реконструкция природной среды позднего голоцена с использованием записи магнитной восприимчивости и пыльцевой записи позволила выявить событие значительного наводнения в долине реки Сенца, повысив палеоэкологический потенциал палинологических записей;

- в целом, климат Окинского плато в последние 8 600 лет был неблагоприятным для произрастания в бассейнах изученных озер сосны обыкновенной и сосны сибирской;

- сравнение реконструированной последовательности развития растительности и климата из высокогорной части Восточного Саяна за последние 8 600 лет с поступлением в исследуемый регион летней инсоляции в этот же период времени показывает, что динамика верхней границы леса в горах Восточного Саяна контролируется, прежде всего, температурой воздуха.

- биом тайги должен рассматриваться для изученной территории как показатель состава региональной растительности, а остальные биомы – как показатели субрегиональной и локальной растительности, что соответствует составу современной растительности, где доминируют лиственничные леса и редколесья на холодных, часто мерзлотных почвах. При этом биом тундры остается со-доминантом;

- в палинологических записях из донных отложений озер Саган-Нур, Ильчир, Шас-Нур, Номто-Нур и торфяных отложений долины реки Сенца не выявлено четкого влияния деятельности человека вплоть до последних примерно 600 лет.

- несмотря на разные природно-климатические условия формирования растительного покрова в горах Алтая, Западного и Восточного Саяна, в палинологических записях из донных отложений озер Саган-Нур, Ильчир, Шас-Нур, Номто-Нур и торфяных отложений долины реки Сенца отражены схожие тенденции развития растительности и климата с соседними регионами, а также заметные реакции на глобальные изменения климата.

СПИСОК ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

СПА – спорово-пыльцевой анализ

СПС – спорово-пыльцевой спектр

УМС – ускорительная масс-спектрометрия

КМУ – концентрация микрочастиц углей

ФТР – функциональный тип растительности

ССО – средняя скорость осадконакопления

МВ – магнитная восприимчивость

Темн/Светл – Темнохвойные/Светлохвойные

л.н. – лет назад

кал.л.н. – калиброванных лет назад

¹⁴С-датирование – радиоуглеродное датирование

SFI – steppe-forest index, лесостепной индекс

AP/NAP – Arboreal Pollen/Non Arboreal Pollen

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агатова А. Р., Непоп Р. К., Щетников А. А., Крайнов М. А., Иванов Е. В., Филинов И. А., Динг П., КАН Я. Шу. Первые результаты исследований донных отложений высокогорных озер аридной зоны Русского Алтая (максимум последнего оледенения – голоцен) // Доклады академии наук. Науки о земле. 2024. Т. 514, № 1, с. 172–180.
2. Анри О., Безрукова Е.В., Тетенькин А.В., Кузьмин М.И. Новые данные к реконструкции растительности и климата в Байкало-Патомском нагорье (Восточная Сибирь) в максимум последнего оледенения – раннем голоцене // Доклады академии наук. 2018. Т. 478. № 5. С. 1-4.
3. Аржанников С.Г., Иванов А.В., Аржанникова А.В., Демонтерова Е.И., Орлова Л.А., Пигати Д. Этапы формирования Жомболокского лавового поля (Восточный Саян) // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. Иркутск: Изд-во Ин-та земной коры СО РАН. 2013. С. 22-24.
4. Атлас Забайкалья. М.; Иркутск. 1967. 179 с.
5. Безрукова Е.В., Амосова А.А., Чубаров В.М., Финкельштейн А.Л., Кулагина Н.В. Изменение природной среды северо-востока Республики Бурятия в пост-оптимальный период голоцена: первые результаты // Сибирский экологический журнал. 2017. N. 4. DOI: 10.15372/SEJ20170410.
6. Безрукова Е.В., Андерсон Д.Дж., Виньковская О.П., Харинский А.В., Кулагина Н.В. Изменение растительности и климата в котловине озера Большое Иняптукское (Северо-Байкальское нагорье) в среднем–позднем голоцене // Археология, Этнография и Антропология Евразии. 2012. Т. 3(51). С. 2-11.
7. Безрукова Е.В., Белов А.В., Летунова П.П., Абзаева А.А., Кулагина Н.В., Фишер Е.Э., Орлова Л.А., Шейфер Е.В., Воронин В.И. Биостратиграфия торфяных отложений и климат северо-западной части горного обрамления озера Байкал в голоцене // Геология и геофизика. 2008. Т. 49 (6). С. 547-558.

8. Безрукова Е.В., Белов А.В. Эволюция растительности на северо-востоке Лено-Ангарского плато в среднем–позднем голоцене // География и природные ресурсы. 2010. № 1. С. 90-98.

9. Безрукова Е.В., Богданов Ю.А., Вильмс Д.Ф., Гранина Л.З., Грачев М.А., Игнатова Н.В., Карабанов Е.Б., Купцов В.М., Курылев А.В., Летунова П.П., Лихошвай Е.В., Черняева Г.П., Шимараева М.К., Якушин А.О. Глубокие изменения экосистемы Северного Байкала в голоцене // Докл. АН СССР. 1991. Т. 321, № 5, с. 1032-1037.

10. Безрукова Е.В., Вершинин К.Е., Летунова П.П., Орлова Л.А., Крапивина С.М., Чепинога В.В., Верховзина А.В., Дударева Н.В., Абзаева А.А. Растительность высокогорий Восточного Саяна в Позднем Голоцене по данным изучения торфяных отложений // Ботанический журнал. 2004. Т. 89 № 2. С. 221-232.

11. Безрукова Е.В., Данько Л.В., Снытко В.А., Летунова П.П., Орлова Л.А., Кузьмин С.Б. и др, Новые данные об изменении растительности западного побережья озера Байкал в среднем-позднем голоцене // Доклады академии наук. 2005. Т. 401 №1. С. 1-5.

12. Безрукова Е.В., Кривоногов С.К., Абзаева А.А, Вершинин К.Е., Летунова П.П., Орлова Л.А., Такахара Х., Миеси Н., Накамура Т., Крапивина С.М., Кавамуро К. Ландшафты и климат Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене по результатам комплексных исследований торфяников // Геология и геофизика. 2005. Т. 46, № 1. С.21-33.

13. Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Волчатова Е.В., Кузьмин М.И. Постледниковая история растительности и климата Окинского плато (Восточный Саян, Южная Сибирь) // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 496, № 2. С. 211-214. DOI: 10.31857/S2686739721020043.

14. Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Крайнов М.А., Филинов И.А. Природная среда Окинского плато (горы Восточного Саяна) в позднем ледниковье и голоцене: пример палинологической летописи из отложений озера Хикушка // Геоморфология, 2022. Т. 53. № 3. С. 61–73.

15. Безрукова Е.В., Летунова П.П. Изменение природной среды Приольхонья в среднем – позднем голоцене // Серия «Геоархеология. Этнология. Антропология». 2012. № 1 (1). С. 91-105.

16. Безрукова Е.В., Мац В.Д., Летунова П.П., Накамура Т., Фуджи Ш. Голоценовые торфяники Прибайкалья как объект палеоклиматических реконструкций // Геология и геофизика. 1996. Т. 37(12). С. 78-92.

17. Безрукова Е.В. Палеогеография Прибайкалья в позднеледниковье и голоцене. Новосибирск: Наука, 1999. 128 с.

18. Безрукова Е.В., Решетова С.А., Кулагина Н.В., Волчатова Е.В., Ван Харденбрук М., Щетников А.А. Растительность и климат Окинского плато (Восточный Саян) в последние 8.2 тысяч лет: на примере бассейна озера Саган-Нур // Актуальные проблемы современной палинологии: Материалы XV Всероссийской палинологической конференции. Москва, 01–03 июня 2022 года / Отв. редактор Н.С. Болиховская. Редактор-составитель Д.А. Мамонтов. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство ГЕОС". 2022. С. 42-46. DOI 10.54896/9785891188532_2022_9.

19. Безрукова Е.В., Тарасов П.Е., Кулагина Н.В., Абзаева А. А., Летунова П.П., Кострова С.С. Палинологическое исследование донных отложений озера Котокель: (район озера Байкал) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52 № 4. С. 586-595.

20. Безрукова Е.В., Щетников А.А., Кузьмин М. И., Шарова О. Г., Кулагина Н.В., Летунова П.П., Иванов Е. В., Крайнов М.А., Кербер Е.В., Филинов И.А., Левина О.В., первые данные об изменении природной среды и климата Жомболокского вулканического района (Восточный Саян) в среднем–позднем голоцене // Доклады академии наук. 2016. Т. 468 № 3. С. 323-327.

21. Белова В. А. Растительность и климат позднего кайнозоя юга Восточной Сибири. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение. 1985. 158 с.

22. Бляхарчук Т.А. Изменение растительности и климата Западного Саяна и их взаимосвязь с развитием археологических культур региона во второй половине голоцена по данным спорово-пыльцевого анализа болотных отложений // Биология. 2011. № 351. С. 145-151.

23. Бобров А.Е., Куприянова Л.А., Литвинцева М.В., Тарасевич В.Ф. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры Европейской части СССР / Л.А. Куприянова. Л.: Наука. 1983. 208 с.
24. Большая советская энциклопедия [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. 3-е изд. М.: Советская энциклопедия. 1969-1986.
25. Борисова О. К. Ландшафтно-климатические изменения в голоцене // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2014. № 2. С. 5-20.
26. Буданцева Н.А. Новая периодизация голоцена – применение для территории Российской Арктики // Арктика и Антарктика. 2022. № 2. С. 20-35. DOI: 10.7256/2453-8922.2022.2.38390.
27. Величко А.А., Морозова Т.Д., Борисова О.К., Тимирева С.Н., Семенов В.В., Кононов Ю.М., Титов В.В., Тесаков А.С., Константинов Е.А., Курбанов Р.Н. Становление зоны степей юга России (по материалам строения лёссово-почвенной формации Доно-Азовского региона) // М. Доклады Академии наук, издательство Наука. 2012. Т. 445. № 4. С. 464-467.
28. Винокуров М.А., Суходолов А.П. Экономика Иркутской области: Иркутск. ИГЭА Облмашинформ. 1998. Т.1. 275 с.
29. Винокуров М.А. Экономика Иркутской области / М.А. Винокуров, А.П. Суходолов. Том 2. Иркутск: Байкальский государственный университет, 1998. 276 с. ISBN 5-7253-0317-9.
30. Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Кербер Е.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Филинов И.А. История растительности бассейна озера Ильчир (Восточный Саян) за последние 8500 лет // Геосферные исследования. 2021. № 1. С. 49-60. DOI 10.17223/25421379/18/4.
31. Волчатова Е.В., Безрукова Е.В., Кулагина Н.В., Решетова С.А., Щетников А.А., Крайнов М.А. История растительности долины реки Сенца (Окинское плато, Восточный Саян) за последние 4700 лет // Геосферные исследования. 2024. № 1. С. 60-71. DOI: 10.17223/25421379/30/4.
32. Выркин В.Б., Шеховцов А.И., Белозерцева И.А., Алёшина И.Н., Захаров В.В., Кичигина Н.В., Черкашина А.А. Современное состояние ландшафтов

Окинской котловины (Восточный Саян) // География и природные ресурсы. 2012. № 4. С. 98-107.

33. Герасимова М.И. География почв. МГУ. 2007. 333 с. ISBN: 9785211054011

34. Гричук В.П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии / Под ред. проф. К.К. Маркова; Моск. ордена Ленина гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, Науч.-исслед. ин-т географии. Москва: Географгиз. 1948. С. 224.

35. Епова Н.А. Опыт дробного геоботанического районирования Хамар-Дабана (южная часть Средней Сибири) // Проблемы ботаники / В.Н. Сукачев. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1960. С. 47-62.

36. Зеленская Я.И., Шишелова Т.И. Водные ресурсы Иркутской Области // Международный журнал экспериментального образования. 2014. № 8-2. С. 100-101.

37. Крутовская Е.Н., Буторина Т.Н. Сезонное развитие горной тайги (выпуск II). Красноярск, 1958.

38. Куприянова Л.А., Алешина Л.А. Пыльца двудольных растений флоры Европейской части СССР / Л.А. Куприянова. Л.: Наука. 1978. 184 с.

39. Левина О. В., Карабанов Е.Б. Современные скорости накопления биогенного кремнезема в донных отложениях озера Байкал: роль видового состава диатомовых водорослей. // Геология и геофизика. 2007. Т. 28. N 6. С. 623-632.

40. Левина Т.П., Орлова Л.А. Климатические ритмы голоцена юга Западной Сибири // Геология и геофизика. 1993. Т. 34, № 3. С. 38–55.

41. Масютина Ю.А. Экзогенный морфогенез Окинского плоскогорья (Восточный Саян): дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.25 / Масютина Юлия Анатольевна. Иркутск. 2019. 207 с.

42. Миляева Л. С. Восточный Саян / Л. С. Миляева // Алтае-Саянская горная область (История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока) / отв. ред. В. В. Вдовин, С. А. Стрелков. М. : Наука, 1969. С. 276-307.

43. Миляева Л. С. Восточный Саян / Л. С. Миляева // Рельеф АлтаеСаянской горной области / отв. ред. В. А. Николаев, Г. А. Чернов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1988. С. 120-146.

44. Назаров А. Н., Соломина О. Н., Мыглан В. С. Динамика верхней границы леса и ледников центрального и восточного Алтая в голоцене // Доклады академии наук. Науки о земле. 2012. Т. 444. № 6. С. 671–675.

45. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Иркутская область и западная часть Бурятской АССР. Ленинград: Гидрометеиздат. 1991. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Вып 22. 605 с.

46. Непоп Р. К., Агатова А. Р. Радиоуглеродная хронология голоценовых селей в долине реки Богуты (Русский Алтай) // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 79–87.

47. Огуреева Г.Н. Ботанико-географический анализ и картографирование растительности гор З. (Россия и сопредельные территории): автореф. дис. д-ра биол. наук. М.: Изд-во МГУ. 1999. 65 с.

48. Покровский Б.Г., Панин А.В. Изменения климата, отраженные в изотопном составе углерода и кислорода голоценовых карбонатов озера Тере-Холь, Тыва (Южная Сибирь) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2025. Т. 33. N. 3. С. 118-142.

49. Решетова С.А., Безрукова Е.В. Паниzzo В., Хендерсон Э., Птицын А.Б., Дарьин А.В., Калугин И.А. Растительность Центрального Забайкалья в позднеледниковье и голоцене // География и природные ресурсы. 2013. N. 2. С. 110–117.

50. Рыжов Ю.В., Голубцов В.А., Кобылкин Д.В. Геоморфологические и палеогеографические условия формирования четвертичных отложений археологических памятников Усть-Менза-6 и Усть-Менза-15 (Забайкальский край) // Труды IV (XX) Всероссийского археологического съезда в Казани. Изд-во: Казань – «Отечество». 2014. Т. 4. С. 369-372.

51. Самойлова Г.С., Хорошев А.В., Хаин Е.В., Федотова А.А. Восточный Саян // Большая российская энциклопедия. 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://old.bigenc.ru/geography/text/5864093> (Дата обращения: 28.07.2025).
52. Севастьянов В.В. Климат высокогорных районов Алтая и Саян. Томск: Изд-во Том. гос. ун-та. 1998. 202 с.
53. Седельников В. П. Высокогорная растительность Алтае-Саянской горной области. Новосибирск. 1988. 288 с.
54. Смагин В.Н., Ильинская С.А., Назимова Д.И., Новосельцева И.Ф., Чередникова Ю.С. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. 1980. 336 с.
55. Ташак В.И. Люди и вулканы Окинского плоскогорья в древности: влияние вулканической деятельности на выбор мест организации поселений // Теория и практика археологических исследований. 2022. №4. С. 117-136.
56. Телятников М.Ю. Синтаксономия альпийских лугов, лиственничных редколесий, ерниковых и лишайниковых тундр высокогорий Восточного Саяна // Растительный мир Азиатской России. 2015. № 3. С. 49-64.
57. Уфимцев Г.Ф., Щетников А.А., Филинов И.А. Окинское плоскогорье как особенный элемент орографии Восточной Сибири // Геоморфология. 2007. № 4. С. 96-103.
58. Холбоева С.А., Иметхенов А.Б. Ландшафты Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Географическая наука и образование: материалы межрегион. науч.-практ. конф. к 20-летию географического отделения БГФ БГУ. Улан-Удэ: Изд-во БГУ. 2008. С. 19–21.
59. Холбоева С.А. Структура растительного покрова Окинского плоскогорья (Восточный Саян) // Ученые записки Забайкальского госпедуниверситета им. Н.Г. Чернышевского. Серия "Естественные науки". 2011. №1 (36). С. 214-217.
60. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. Опыт трансконтинентальной корреляции этапов развития растительности и климата/ М., Наука. 1977. 199 с.

61. Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов ООН по изменению климата (МГЭИК), 13-19 марта 2023 г. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

62. Щербаков Д.И. О некоторых геологических исследованиях в Академии наук СССР // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1962. № 9. С. 3-11.

63. Щетников А.А., Безрукова Е.В., Филинов И.А., Иванов Е.В., Кербер Е.В. Озерный морфолитогенез в Долине вулканов (Восточный Саян) // География и природные ресурсы. № 3. 2016. С. 37–48. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-3.

64. Aario L. Über die pollenanalytischen Methoden zur untersuchung von Waldgrenzen // Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar. 1994. V. 66. P. 1–337.

65. Agatova A. R., Khazina I. V., Bronnikova M. A., Uspenskaya O. N., Nepop R. K. Reconstruction of postglacial landscape evolution within the eastern periphery of Chuya depression on the basis of multidisciplinary analysis of peats in Boguty river basin, SE Altai, Russia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Sci. 138. DOI: 10.1088/1755-1315/138/1/012001.

66. Agatova A. R., Nazarov A. N., Nepop R. K., Rodnigh H. Holocene Glacier Fluctuations and Climate Changes in the Southeastern Part of the Russian Altai (South Siberia) Based on a Radiocarbon Chronology // Quaternary Science Reviews. 2012. V. 43. P. 74-93.

67. Agatova A., Nepop R., Nazarov A., Ovchinnikov I., Moska P. Climatically driven Holocene glacier advances in the Russian Altai based on radiocarbon and OSL dating and tree ring analysis // Climate. 2021. V. 9. №. 11. P. 162.

68. Agatova, A. R., Nepop R. K., Slyusarenko I. Yu., Myglan V. S., Nazarov A. N., Barinov V. V. Glacier dynamics, palaeohydrological changes and seismicity in southeastern Altai (Russia) and their influence on human occupation during the last 3000 years // Quaternary International. 2014. Vol. 324. P. 6-19.

69. Baulch D.L., Bowman C.T., Cobos C.J., Cox R.A., Just Th., Kerr J.A., Pilling M.J., Stocker D., Troe J., Tsang W., Walker R. W., Warnatz J. Evaluated Kinetic Data for Combustion Modeling // Supplement II 2005 by the U.S. Secretary of Commerce on

behalf of the United State J. Phys. Chem. Ref. Data. 2005. V. 34. N. 3. DOI: 10.1063/1.1748524

70. Bengtsson L., Enell M. Chemical analysis / B.E. Berglund (Ed): Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. Wiley, Chichester. 1986. P. 423-445.

71. Berger A.B., Loutre M.F. Insolation values for the climate of the last 10 million years // Quaternary Science Reviews. 1991. V. 10. P. 297–317.

72. Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams // Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology / B.E. Berglund. Interscience. New-York. 1986. P. 455–484.

73. Bezrukova E.V., Abzaeva A.A., Letunova P.P., Kulagina N.V., Vershinin K.E., Belov A.V., Orplova L.A., Danko L.V. Post-glacial history of Siberian spruce (*Picea obovata*) in the Lake Baikal area and the significance of this species as paleo-environmental indicator // Quaternary International. 2005. V. 136. P. 18–32.

74. Bezrukova E., Bukharov A., Bychinsky V., Colman S., Fedenya S., Gvozdkov A., Geletii V., Goreglyad A., Gorokhov I., Ivanov E., Kawai T., Kalmychkov G., Karabanov E., Kerber E., Khakhaev B., Khomutova M., Khursevich G., Kochukov V., Kravchinsky V., Krainov M., Krapivina S., Kudryashov N., Kuz'min M., Kulagina N., Letunova P., Levina O., Pevzner L., Prokopenko A., Scholz C., Solotchin P., Tkachenko L., Williams D. Highresolution sedimentary record in a new BDP-99 core from Posol'sk Bank in Lake Baikal, Russ. Geol. Geophys. 2004. V 45 (2). P. 149–175.

75. Bezrukova E.V., Shchetnikov A.A., Kuzmin M.I., Sharova O.G., Kulagina N.V., Letunova P.P., Ivanov E.V., Krainov M.A., Kerber E.V., Filinov, I.A. Levina O.V.: First data on the environment and climate change within the Zhom-Bolok volcanic field (Eastern Sayan Mountains) in the Middle–Late Holocene // Reports Earth Sciences. 2016. V. 468. P. 527–531.

76. Bezrukova E.V., Tarasov P.E., Solovieva N., Krivonogov S. K., Riedel F. Last glacial–interglacial vegetation and environmental dynamics in southern Siberia: Chronology, forcing and feedbacks // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2010. V. 296. P. 185–198.

77. Bezrukova E.V., Vershinin K.E., Orlova L.A., Letunova P.P., Krapivina S.M., Chepinoga V.V., Verkhozina A.V., Dudareva N.V., Abzaeva A.A. Late Holocene vegetation and climate in the East Sayan Mountains // *Russian Geology and Geophysics*. 2003. V. 44(4). P. 380–384.

78. Birks H.H., Battarbee R.W., Birks H.J.B. The development of the aquatic ecosystem at Kråkenes Lake, western Norway, during the late-glacial and early-Holocene—a synthesis // *Paleolimnology*. 2000. V. 23. P. 91–114.

79. Blaauw M., Christen J.A., Lopez M. A.A. Rbacon: Age-Depth Modelling using Bayesian Statistics // R package. 2019. Version 2.3.9.1. <https://CRAN.R-project.org/package=rbacon>.

80. Blyakharchuk T. A. Dynamics of vegetation cover and quantitative palaeoclimatic reconstructions in the Western Sayan Mountains from the Late Glacial period to the present time according to a palynological study of the Yuzhno-Buybinskoe mire // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. V.611. 012026 DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012026.

81. Blyakharchuk T. A., Wright H., Borodavko P., Knaap WO van der, Ammann B. Late Glacial and Holocene vegetational changes on the Ulagan high-mountain plateau, Altai Mountains, southern Siberia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004. V.209. P. 259-280.

82. Blyakharchuk T.A., Prihodko V.E., Kilunovskaya M., Li H.-C. Vegetation and climate reconstruction based on pollen and microbial records derived from burial mounds soil in Tuva Republic, Central Asia // *Quaternary International*. V. 507. 2019. P. 108–123. DOI: 10.1016/j.quaint.2018.09.028

83. Blyakharchuk T.A., Wright H.E., Borodavko P.S., Van der Knaap W.O., Ammann. B. Late Glacial and Holocene vegetational history of the Altai Mountains (southwestern Tuva Republic) // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. V. 245. P. 518-534.

84. Bondarenko N.A., Sheveleva N.G., Domysheva V.M. Structure of plankton communities in Ilchir, an alpine lake in eastern Siberia // *Limnology*. 2002. V. 3. P. 127-133.

85. Boyle M., Wong C., Rocha M., Jones D.L. Decline in self-renewal factors contributes to aging of the stem cell niche in the *Drosophila* testis // *Cell Stem Cell*. 2007. V. 1. I. 4. P. 470-478. DOI: 10.1016/j.stem.2007.08.002
86. Bradbury J.P., Bezrukova E.V., Chernyaeva G.P., Colman S.M., Khursevich G., King J.W., Likoshway E.V. A synthesis of post-glacial diatom records from Lake Baikal // *Paleolimnology*. 1994. V. 10. P. 213-252.
87. Bronk Ramsey C. Radiocarbon calibration and analysis of stratigraphy: the OxCal program // *Radiocarbon*. 1995. V. 37(2). P. 425-430.
88. Bronnikova M. A., Konopliankova Yu.V., Agatova A. R., Nepop R. K., Lebedeva M.P. Holocene Environmental Change in South-East Altai Evidenced by Soil Record // *Geography, Environment, Sustainability*. 2018. V. 11 (4). P. 100–111.
89. Brubaker L.B., Anderson P.M., Edwards M.E., Lozhkin A.V. Beringia as a glacial refugium for boreal trees and shrubs: new perspectives from mapped pollen data // *Journal of Biogeography*. 2005. V. 32. P. 833-848.
90. Conedera M., Tinner W., Neff Ch., Meurer M., Dickens A.F., Krebs P. Reconstructing past fire regimes: methods, applications, and relevance to fire management and conservation // *Quaternary Science Reviews*. 2009. V. 28. P. 555-576.
91. Dean W.E. Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison with Other Methods // *Journal of Sedimentary Petrology*. 1974. V. 44. P. 242-248.
92. Deline P., Ravanel L., Delannoy J.J., Le Roy M., Team A., Cheremisim D.V., Zotkina L.V., Cretin C., Geneste J.-M., L'eani L., Plisson H., Molodin V.I. Timing and extent of glaciation since the Last Glacial Maximum in the upper Kalguty basin, Russian Altai mountains // *Journal of Quaternary Science*. 2023. V. 38. Issue 7/ P. 1080-1102. DOI: 10.1002/jqs.3535.
93. Demske D, Heumann G, Granoszewski W. Late glacial and Holocene vegetation and regional climate variability evidenced in high-resolution pollen records from Lake Baikal // *Global and Planetary Change*. 2005. V. 46. P. 255-279.

94. Engstrom D.R., Fritz S.C., Almendinger J.E., Juggins S. Chemical and biological trends during lake evolution in recently deglaciated terrain // *Nature*. 2000. V. 408. P. 161-166.

95. Evstigneeva T.A., Cherepanova M.V. Environmental changes clarified by pollen and diatom proxy records in the sedimentary archive of the northwestern Japan Sea during last 21.0 kyr // *Palaeoworld*. 2022. V. 31. P. 733-748. DOI: 10.1016/j.palwor.2022.03.007

96. Faegri K., Iversen J. *Textbook of Pollen Analysis*. New York, Hafner Pub. Co. 1964. 237 p.

97. Fan J., Xu H., Jiang H., Wei X., Shi W., Guo Q., Zhang S., Bai X., Liu X., Xiao J. Millennial- to centennial-scale anti-phase relationship between the Westerlies and the East Asian summer monsoon and its cultural response along the Silk Roads after a great earthquake in southern Altay ~ 3500 cal a BP // *Journal of Quaternary Science*. 2022. V. 38. Issue 1. P. 123-137. DOI: 10.1002/jqs.3468.

98. Fedotov A., Vorobyeva S., Vershinin K., Osipov E., Climate changes in the south part of East Siberia for the last 5.5 ka inferred from multi-proxy sediment records of Lake Frolikha (Northern Baikal area, Russia) // *Quaternary International*. 2023. V. 644-645. P. 41–50.

99. Ganyushkin D., Chistyakov K., Volkov I., Bantcev D., Kunaeva E., Brandova D., Raab G., Christl M., Egli M. Palaeoclimate, glacier and treeline reconstruction based on geomorphic evidences in the Mongun-Taiga massif (south-eastern Russian Altai) during the Late Pleistocene and Holocene // *Quaternary International*. 2018. V. 470. P. 26-37.

100. Genov I. Model of Palaeoenvironmental Evolution of the Black Sea Region During the Last Glacial Maximum—Holocene // *Oceanology*. 2009. V. 49. N. 4. P. 540-557. DOI: 10.1134/S0001437009040122

101. Google Earth [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://earth.google.com/web> (Дата обращения: 27.03.2024).

102. Grimm E.C. *Tilia 1.7.16 Software*. Springfield, IL: Illinois State Museum. Research and Collection Center. 2011. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://intra.museum.state.il.us/pub/grimm/tilia/> (Дата обращения: ноябрь 2019).

103. Grove J. M. Little Ice Ages. Ancient and Modern. V. 1, 2. L., N. Y.: Routledge. 2004. P. 406–718.
104. Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // *Journal of Paleolimnology*. 2001. V. 25. P. 101-110.
105. Horiuchi K., Minoura K., Hoshino K., Oda T., Nakamura T., Kawai. T., Palaeoenvironmental history of Lake Baikal during the last 23000 years // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2000. V. 157. N. 1-2. P. 95-108.
106. Hou J.Z., D'Andrea W.J., Liu Z.H. The influence of C-14 reservoir age on interpretation of paleolimnological records from the Tibetan Plateau // *Quaternary Science Reviews*. 2012. V. 48. P. 67-79.
107. Hou J., Tyo K. E., Liu Z., Petranovic D., Nielsen J. Metabolic engineering of recombinant protein secretion by *Saccharomyces cerevisiae*. // *FEMS Yeast Research*. 2012. V. 12. I. 5. P. 491–510. <https://doi.org/10.1111/j.1567-1364.2012.00810.x>
108. Hou Y., Long Ha., Shen J., Gao L. Holocene lake-level fluctuations of Selin Co on the central Tibetan plateau: Regulated by monsoonal precipitation or meltwater? // *Quaternary Science Reviews*. 2021. V. 261. 106919.
109. Hu Y., Huang X., Demberel O., Zhang J., Xiang L., Gundegmaa V., Huang C., Zheng V., Zhang J., Qiang M., Xiao J., Chen F. Quantitative reconstruction of precipitation changes in the Mongolian Altai Mountains since 13.7 ka // *Catena*. 2024. V. 234. 234107536 DOI: 10.1016/j.catena.2023.107536.
110. Ivanov A.V., Arzhannikov S.G., Demonterova E.I., Arzhannikova A.V., Orlova L.A. Jom-Bolok Holocene volcanic field in the East Sayan Mts., Siberia, Russia: structure, style of eruptions, magma compositions, and radiocarbon dating // *Bulletin of Volcanology*. 2011. V. 73. P. 1279–1294.
111. Klemm J., Herzsuh U., Pisaric M.F.J., Telford R.J., Heim B., Pestryakova L.A. A pollen-climate transfer function from the tundra and taiga vegetation in Arctic Siberia and its applicability to a Holocene record // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2013. V. 386. P. 702–713.

112. Kobe F., Bezrukova E.V., Leipe C., Shchetnikov A.A., Goslar T., Wagner M., Kostrova S.S., Tarasov P.E. Holocene vegetation and climate history in Baikal Siberia reconstructed from pollen records and its implications for archaeology // *Archaeological Research in Asia*. 2020. V. 23. P. 100-209.

113. Kostrova S.S., Meyer H., Tarasov P. E., Bezrukova E.V., Chaplign B., Kossler A., Pavlova L. A., Kuzmin M. I. Oxygen isotope composition of diatoms from sediments of Lake Kotokel (Buryatia) // *Russian Geology and Geophysics*. 2016. V. 57. № 8. P. 1239-1247.

114. Krivonogov S.K., Takahara H., Kuzmin Y.V., Orlova L.A., Jull T.A.J., Nakamura T., Miyoshi N., Kawamuro K., Bezrukova E.V. Radiocarbon chronology of the Late Pleistocene–Holocene paleogeographic events in Lake Bbaikal region (Siberia) // *Radiocarbon*. 2004. V. 46. N 2. P. 745-754.

115. Kutzbach J., Gallimore R., Harrison S., Behling P., Selin R., Laarif F. Climate and biome simulations for the past 21,000 years // *Quaternary Science Reviews*. 1998. V. 17 (6-7). P. 473-506.

116. Laskar, J., Robutel, P., Joutel, F., Gastineau, M. et al. A long-term numerical solution for the insolation quantities of the Earth // *Astron. Astrophys.* 2004. V. 428. P. 261-285.

117. Lisitsyna O.V., Giesecke T., Hicks S. Exploring pollen percentage threshold values as an indication for the regional presence of major European trees // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2011. V. 166. P. 311-324.

118. Liu H.Y., Cui H.T., Pott R., Speier M. The surface pollen of the woodland-steppe ecotone in southeastern Inner Mongolia, China // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 1999. V. 105. P. 237-250.

119. Liu X.Q., Shen J., Wang S.M., Wang Y.B., Liu W.G. Southwest monsoon changes indicated by oxygen isotope of ostracode shells from sediments in Qinghai Lake since the late Glacial // *Chinese Sci. Bull.* 2007. V. 52. № 4. P. 539-544.

120. MacDonald G.M. Conifer Stomata // *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Developments in Paleoenvironmental Research*. Springer, Dordrecht. 2002. V. 3. P. 33–47.

121. MacDonald G.M., Velichko A.A., Kremenetski C.V., Borisova O.K., Goleva A.A., Andreev A.A., Cwynar L. C., Riding R.T., Forman S.L, Edwards T.W.D., Aravena R., Hammarlund D., Szeicz J.M., Gattaulin V.N. Holocene Treeline History and Climate Change Across Northern Eurasia // *Quaternary Research*. 2000.V. 53. P. 302-311.

122. Mackay A.W., Bezrukova E.V., Leng M.J., Meaney M., Nunes A., Piotrowska N., Self A., Shchetnikov A., Shilland E., Tarasov P., Luo Wang, White D. Aquatic ecosystem responses to Holocene climate change and biome development in boreal, central Asia // *Quaternary Science Reviews*. 2012. V. 41. P. 119–131.

123. Ma X., Wei Z., Wang Y., Wang G., Zhang T., He W., Yu X., Ma H., Zhang P., Li S., Wei J., Fan Q. Reconstruction of climate changes based on $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ on the Northeastern Tibetan Plateau: a 16.1-cal kyr BP record from Hurleg Lake // *Front. Earth Sci*. 2021. V. 9. 745972. DOI: 10.3389/feart.2021.745972.

124. Michelutti N., Wolfe A.P., Briner J.P., Miller G.H. Climatically controlled chemical and biological development in Arctic lakes // *Geophys Research*. 2007. V.112: G03002. DOI: 10.1029/2006JG000396.

125. Moore P.D., Webb J.A., Collinson M.E. Pollen analysis. Second edition. Blackwell Scientific Publications. 1991. 216 p.

126. Mortlock R.A., Froelich P.N. A simple method for the rapid determination of biogenic opal in pelagic marine sediments. *Deep-Sea Research*. 1989. No. 36. P. 1415–1426. DOI: 10.1016/0198-0149(89)90092-7

127. Müller S., Tarasov P. E., Gartz S. Andreev A.A., Tütken T., Diekmann B. Late Quaternary vegetation and environments in the Verkhoyansk Mountains region (NE Asia) reconstructed from a 50-kyr fossil pollen record from Lake Billyakh // *Quaternary Science Reviews*. 2010. Vol. 29. N. 17-18. P. 2071-2086. DOI: 10.1016/j.quascirev.2010.04.024

128. Müller S., Tarasov P.E., Hoelzmann P., Bezrukova E.V, Kossler A., Krivonogov S.K. Stable Vegetation and Environmental Conditions during the Last Glacial Maximum: New Results from Lake Kotokel (Lake Baikal Region, Southern Siberia, Russia) // *Quaternary International*. 2014. № 348. P. 14-24.

129. Nepop R. K., Agatova A. R., Uspenskaya O. N. Climatically driven late Pleistocene – Holocene hydrological system transformation and landscape evolution in the eastern periphery of Chuya basin, SE Altai, Russia // *Quaternary International*. 2020. V. 538. P. 63-79.
130. New M., Lister D., Hulme M., Makin I. A high-resolution data set of surface climate over global land areas // *Climate Research*. 2002. V. 21. P. 1-25.
131. Novenko E., Rudenko O., Mazei N., Kupriyanov D., Andreev R., Shatunov A., Kusilman, M., Prokushkin, A., Olchev A. Effects of Climate Change and Fire on the Middle and Late Holocene Forest History in Yenisei Siberia. *Forests*. 2023. V. 14. 2321. DOI: 10.3390/f14122321.
132. Parker B.R., Vinebrooke R.D., Schindler D.W. Recent climate extremes alter alpine lake ecosystems // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. 2008. DOI: 105:12927–12931
133. Pidek I. A., Svitavska-Svobodova H., van der Knaap W. O., Magyari E. Pollen percentage thresholds of *Abies alba* based on 13-year annual records of pollen deposition in modified Tauber traps: perspectives of application to fossil situations // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2013. V. 195. P. 26-36.
134. Pisaric M.F.J., MacDonald G.M., Cwynar L.C., Velichko A.A. Modern pollen and conifer stomates from north-central Siberian lake sediments: their use in interpreting late Quaternary fossil pollen assemblages // *Arctic, Antarctic and Alpine Research*. 2001. V. 34. P. 19-27.
135. Prentice C.I., Guiot J., Huntley B., Jolly D., Cheddadi R. Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. // *Climate Dynamics*. 1996. V. 12. P. 185-194.
136. Prudnikova T. N. Ancient Agriculture and Paleographic Characteristics of the Ubsunurskaya Depression // *Geography and Natural Resources*, 2017, Vol. 38, No. 1. P. 93-100.
137. R Core Team (2022) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Режим доступа: <https://www.R-project.org>

138. Reimer P.J., Austin W.E.N., Bard E., Bayliss A., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Butzin M., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kromer B., Manning S.W., Muscheler R., Palmer J.G., Pearson C., Plicht J., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Turney C.S.M., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S.M., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0–55 cal kBP) // *Radiocarbon*. 2020. V. 62. №. 4. P. 725-757.

139. Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Ramsey C.B., Buck C.E., Cheng H., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., Van der Plicht J. IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0-50,000 years cal BP // *Radiocarbon*. 2013. V. 55. P. 1869-1887.

140. Renberg I. A 12 600 year perspective of the acidification of Lilla Öresjön, southwest Sweden // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 1990. V. 327. P. 357-361.

141. Reuss N., Leavitt P. R., Hall R. I., Bigler C., Hammarlund D.. Development and application of sedimentary pigments for assessing effects of climatic and environmental changes on subarctic lakes in northern Sweden // *Paleolimnology*. 2010. V. 43. P. 149-169. DOI: 10.1007/s10933-009-9323-x.

142. Rey F., Brugger S.O., Gobet E., Andenmatten R., Bonini A., Inniger H., Maurer C., Perret-Gentil-dit-Maillard N., Riederer J.C., Heiri O., Tinner W., Schwörer C. 14,500 years of vegetation and land use history in the upper continental montane zone at Lac de Champex (Valais, Switzerland) // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2022. V. 31. P. 377-393.

143. Rothwell R.G. Minerals and Mineraloids in Marine Sediments: An optical identification guide, Elsevier Applied Science. 1989. London, 279 pp.

144. Seppä H., Birks H.J.B, Odland A., Poska A., Veski S. A modern pollen–climate calibration set from northern Europe: Developing and testing a tool for palaeoclimatological reconstructions // *Journal of Biogeography*. 2004. V. 31. P. 251-267.

145. Schlütz F., Lehmkuhl F. Climatic change in the Russian Altai, southern Siberia, based on palynological and geomorphological results, with implications for climatic teleconnections and human history since the middle Holocene // *Vegetation History and Archaeobotany*. 2007. V. 16(2) P.101-118/ DOI: 10.1007/s00334-006-0073-7

146. Shchetnikov A.A., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K. Late Glacial to Holocene volcanism of Jom-Bolok Valley (East Sayan Mountains, Siberia) recorded by microtephra layers of the Lake Kaskadnoe-1 sediments // *Journal of Asian Earth sciences*. 2019. V. 173. P. 291-303.

147. Shichi K., Takahara H., Krivonogov S. K., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K., Kashiwaya K., Takehara A., Nakamura T. Late Pleistocene and Holocene vegetation and climate records from Lake Kotokel, central Baikal region // *Quaternary International*. 2009. V. 205(1). P. 98-110. DOI: 10.1016/j.quaint.2009.02.005.

148. Steinhilber F., Abreu, J.A., Beer, J., Brunner, I., Christl, M., Fischer, H., Heikkilä, U., Kubik, P.W., Mann, M., McCracken, K.G., Miller, H., Miyahara, H., Oerter, H., Wilhelms, F., 2012. 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 (16), 5967–5971. DOI: 10.1073/pnas.1118965109

149. Stepanova O.G., Trunova V.A., Osipov E.Yu. et al. Glacier dynamics in the southern part of East Siberia (Russia) from the final part of the LGM to the present based on from biogeochemical proxies from bottom sediments of proglacial lakes // *Quaternary International*. 2019. Vol. 524. P. 4-12.

150. Steuwer A., Santisteban J. R., Turski M., Withers P.J., Buslaps T. High-resolution strain mapping in bulk samples using full-profile analysis of energy-dispersive synchrotron X-ray diffraction data // *Journal of applied crystallography*. 2004. V. 37. Issue 6. P. 883-889.

151. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Intergovernmental panel on climate change / A report of Working Group I of the IPCC. 2013. 222 p.
152. Stockmarr J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis // *Pollen et Spores*. V. 13. N. 4. 1971. P. 615-621.
153. Stockmarr J. Determination of spore concentration with an electronic particle counter // *Danmarks Geologiske Undersøgelse, Arbog*. 1972. P. 87-89.
154. Svensson A., Andersen K.K., Bigler M., Clausen H.B. et al. A 60000 year Greenland stratigraphic ice core chronology // *Climat of the Past*. 2008. Vol. 4. P. 47-57.
155. Takahara H., Krivonogov S.K., Bezrukova E.V., Miyoshi N., Morita Y., Nakamura T., Hase Y., Shinomiya Y., Kawamuro K. Vegetation history of the southeastern and eastern coasts of Lake Baikal from bog sediments since the last interstade // Minoura, K (Ed.) *Lake Baikal: A mirror in time and space for understanding global change processes*. Elsevier, Amsterdam. 2000. P 108-118.
156. Tarasov P., Bezrukova E., Karabanov E., Nakagawa T., Wagner M., Kulagina N., Letunova P., Abzaeva A., Granoszewski W., Riedel F. Vegetation and climate dynamics during the Holocene and Eemian interglacials derived from Lake Baikal pollen records // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2007. V. 252. P. 440-457. DOI: 10.1016/j.palaeo.2007.05.002.
157. Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Krivonogov S.K. Late Glacial and Holocene changes in vegetation cover and climate in southern Siberia derived from a 15 kyr long pollen record from Lake Kotokel // *Climate of the Past*. 2009. V. 5. P. 285-295. DOI: 10.5194/cp-5-285-2009.
158. Tarasov P.E., Bezrukova E.V., Müller S., Kostrova S.S., White D. Chapter 2: Climate and vegetation history / R.J. Losey, T. Nomokonova (Eds.) // *Holocene Zooarchaeology of Cis-Baikal, Archaeology in China and East Asia*. 2017. V.6. P. 15-26.
159. Tarasov P.E., Ilyashuk B.P., Leipe C., Müller S., Plessen B., Hoelzmann P., Kostrova S.S., Bezrukova E.V., Meyer H. Insight into the Last Glacial Maximum climate and environments of the Baikal region // *Boreas*. 2019. V. 48, № 2. P.488-506. DOI: 10.1111/bor.12330

160. Traverse A. *Paleopalynology*. / Boston, London, Sydney, Wellington: Unwin Hyman. 1988. 600 p.

161. Velichko A.A., Andreev A.A., Klimanov V.A. Climate and vegetation dynamics in the tundra and forest zone during the Late Glacial and Holocene // *Quaternary International*. 1997. V. 41/42. P. 71-96. DOI: 10.1016/S1040-6182(96)00039-0.

162. Viviroli D., Archer D.R., Buytaert W., Fowler H.J., Greenwood G., Hamle A. F., Huang Y., Koboltschnig G., Litaor M.I., Lorentz S., Schädler B., Schreier H., Schwaiger K., Vuille M., Woods R.A. Climate change and mountain water resources: Overview and recommendations for research, management and policy // *Hydrology and Earth System Sciences*. 2011. V.15(2). P. 471-504. DOI:10.5194/hess-15-471-2011.

163. Viviroli D., D'urr H. H., Messerli B., Meybeck M., and Weingartner R.: Mountains of the world – water towers for humanity: typology, mapping and global significance // *Water Resources Research*. 2007. V. 43. W07447. DOI: 10.1029/2006WR005653.

164. Vladimirov I.N., Vyrkin V.B., Ilyicheva E.A., Kobylkin D.V. et al. Natural Conditions and Ecological Potential of Geosystems in the Central Part of the Oka Plateau (Eastern Sayan) // *Geography and Natural Resources*. 2019. Vol. 40. No. 3. P. 264-274.

165. Walker M., Gibbard Ph., Head M.J., Berkelhammer M., Björck S., Cheng H., Cwynar L.C., Fisher D., Gkinis V., Long A., Lowe J., Newnham R., Rasmussen S.O., Weiss H. Formal Subdivision of the Holocene Series/Epoch: A Summary // *Journal Geological Society of India*. 2019. V. 93. P. 135–141.

166. Walker M., Head M.J., Berkelhammer M., et al. Formal ratification of the subdivision of the Holocene Series/Epoch (Quaternary System/Period): two new Global Boundary Stratotype Sections and Points (GSSPs) and three new stages/Subseries // *Episodes*. 2018; 41(4):213-223. DOI: 10.18814/epiugs/2018/018016.

167. Walker M., Johnsen S., Rasmussen S.O., Popp T., Steffensen J.-P., Gibbard P., Hoek W., Lowe J., Andrews J., Björck S., Cwynar L.C., Hughen K., Kershaw P., Kromer B., Litt T., Lowe D.J., Nakagawa T., Newnham R., and Schwander J. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene

using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records // *Journal of Quaternary Science*. 2009. V. 24. P. 3-17. DOI: 10.1002/jqs.1227.

168. Wanner H., Beer J., Bütikofer J., Crowley T. J., Cubasch U., Flückiger J., Goosse H., Grosjean M., Joos F., Kaplan J. O., Küttel M., Müller S. A., Prentice I. C., Solomina O., Stocker T. F., Tarasov P., Wagner M., Widmann M. Mid- to Late Holocene climate change: an overview // *Quaternary Science Reviews*. 2008. V. 27. P. 1791-1828. DOI: 10.1016/j.quascirev.2008.06.013.

169. Wassenburg J.A., Dietrich S., Fietzke J., Fohlmeister J., Jochum K.P., Scholz D., Richter D.K., Sabaoui A., Spötl Ch., Lohmann G., Andreae M.O., Immenhauser A. Reorganization of the North Atlantic Oscillation during early Holocene deglaciation // *Nature geosciences*. 2016. V. 9. P. 602-606.

170. Weber A.W., Bettinger R. Middle Holocene hunter-gatherers of Cis-Baikal, Siberia: An overview for the new century // *Journal of Anthropological Archaeology*. V. 29. 2010. P. 491-506.

171. Weber A.W., White D., Bazaliiskii V.I., Goriunova O.I., Savel'ev N., Katzenberg M.A. Hunter-gatherer foraging ranges, migrations, and travel in the middle Holocene Baikal region of Siberia: insights from carbon and nitrogen stable isotope signatures // *Journal of Anthropological Archaeology*. 2011. V. 30(4). P. 523-548. DOI: 10.1016/j.jaa.2011.06.006.

172. Williams G.L., Lentin J.K., Fensome R.A. The Lentin and Williams Index of fossil dinoflagellates. // *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contributions Series*. 1998. N.34. 817 p.

173. Xiaoqiang L., Jiea Z., Ji S., Chengyu W., Hongli Z., Qianli S. Vegetation history and climatic variations during the last 14 ka BP inferred from a pollen record at Daihai Lake, north-central China // *Rev. of Palaeobot. Palynol.* 2004. V. 132. P. 195-205.

174. Yuan D.X., Cheng H., Edwards R.L., Dykoski C.A. et al. Timing, duration, and transitions of the last interglacial Asian monsoon // *Science*. 2004. Vol. 304. P. 575-578.

175. Zhang D., Chen X., Li Ya., Wang W., Sun A., Yang Yu., Ran M., Feng Zh. Response of vegetation to Holocene evolution of westerlies in the Asian Central Arid Zone // *Quaternary Science Reviews*. 2020. V. 229. P. 106-138.

176. Zhang X., Xu B., Li J., Xie Y., Gao S., Wang, M. Climatic and environmental changes over the past about 300 years recorded by lake sediments in Taro Co, southwestern Tibetan Plateau // *Journal of Earth Sciences and Environment*. 2012. V. 34 (1), P. 79-90.

177. Zhou K., Xu H., Lan J., Yan D., Sheng E., Yu K., Song Y., Zhang J., Fu P., Xu S. Variable Late Holocene ^{14}C Reservoir Ages in Lake Bosten, Northwestern China // *Frontiers in Earth Science*. 2020. V. 7. DOI: 10.3389/feart.2019.00328.