

*На правах рукописи*

**Павлова Мария Романовна**

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ГЕОХРОНОЛОГИЯ ПОКРОВНЫХ  
ПЕСЧАНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Специальность 1.6.14 – геоморфология и палеогеография

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Якутск – 2025

Работа выполнена в лаборатории общей геокриологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт мерзлотоведения Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Якутск).

**Научный руководитель:**

**Панин Андрей Валерьевич**, член-корреспондент Российской академии наук, доктор географических наук, заведующий отделом палеогеографии четвертичного периода Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии Российской академии наук».

**Официальные оппоненты:**

**Баженова Ольга Иннокентьевна**, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук», г. Иркутск;

**Дружинина Ольга Александровна**, кандидат географических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А.А. Герцена», г. Санкт-Петербург.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень.


Защита диссертации состоится 20 июня 2025 года в 11 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.1.049.02 на базе ФГБУН Институт географии Российской академии наук по адресу 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, 29. Факс: (495) 959-00-16, e-mail: d00204603@igras.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН и на интернет-сайте: <http://igras.ru/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Отзывы на автореферат (в электронном виде и на бумажном носителе в одном экземпляре, заверенные подписью и печатью) просим направлять по адресу: 119017, Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4., ФГБУН Институт географии РАН, Диссертационный совет 24.1.049.02. E-mail: d00204603@igras.ru

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат географических наук

 Е.А. Белоновская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность исследований.** Центральная Якутия является одним из регионов, где распространены позднечетвертичные и современные покровные песчаные отложения (ППО). Первые залегают в виде прерывистого чехла на различных гипсометрических уровнях и нередко формируют реликтовые дюнные массивы, закрепленные растительностью. Современные песчаные покровы, которые не закреплены или частично закреплены растительностью, называют тукуланами [Павлов, Мальцев, 1977]. В Центральной Якутии ППО занимают не менее половины территории [Галанин, Павлова, 2019], но, несмотря на столь широкое распространение, они длительное время оставались наименее изученными в сравнении с другими типами отложений региона. Из-за расположения ППО на разных гипсометрических уровнях, схожести по составу, строению и фаціальным признакам, отсутствия достаточного количества данных по количественному датированию им приписывался различный генезис: на речных террасах крупных рек (Лена, Вилюй, Синяя, Тюнг, Линде и др.) – аллювиально-озерный, на пологих склонах междуречий – делювиально-пролювиальный и солифлюкционный, на водоразделах – элювиальный [Карта..., 1959, 1982; Геокриология ..., 1989], что добавляло неоднозначности при реконструкции ключевых событий четвертичной истории региона.

По мере проведения исследований в долине среднего течения р. Лены ряд специалистов [Колпаков, 1983; Камалетдинов, Зигерт, 1989; Алексеев и др., 1984; Камалетдинов, Минюк, 1991; Зигерт и др., 2007; Waters et al., 1999; Галанин, Павлова, 2018 и др.] выдвинули предположение, что ППО – это дюнные покровы, сформировавшиеся в результате экстремального опустынивания в течение последнего криохрона и имеющие эоловое происхождение. В 2009 г. ППО в хронологическом объеме МИС 2 были утверждены в составе новой стратиграфической схемы региона [Унифицированная ..., 2010], а в 2014 г. отнесены к эоловой формации [Карта..., 2014]. Несмотря на это, многие исследователи не признают эоловый генезис ППО и объясняют их накопление на разных гипсометрических уровнях результатом мощных речных паводков [Большаянов и др., 2016], катастрофическими наводнениями из-за прорыва подпрудно-ледниковых озер на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена [Спектор и др., 2017], либо поздненеоплейстоценовыми морскими трансгрессиями [Поморцев и др., 2017].

Таким образом, в настоящее время генезис, возраст и условия формирования ППО остаются дискуссионными, что вызывает сложности в выделении ППО во многих известных разрезах региона, затрудняет разработку местных стратиграфических схем, их корреляцию между собой и с соседними регионами, а также реконструкцию истории формирования рельефа и седиментогенеза Центральной Якутии в конце квартала. Хозяйственное освоение Центральной Якутии также требует надежных представлений о строении и эволюции криолитозоны, значительная часть которой сложена ППО.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является реконструкция истории формирования песчаных покровов и дюнного рельефа в магистральных речных долинах Центральной Якутии. Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Провести комплексное полевое изучение строения и фациального состава наиболее информативных разрезов покровных песчаных отложений Центральной Якутии.

2. Установить ключевые литолого-фациальные признаки покровных песчаных отложений на основе обобщения, полученных лично и опубликованных данных.

3. Осуществить количественное датирование отложений с использованием современных методов (радиоуглеродного, оптически-стимулированной люминесценции), провести статистическую обработку полученных результатов с определением основных интервалов накопления покровных песчаных отложений.

4. Выполнить спорово-пыльцевой анализ покровных песчаных отложений с выделением основных палинозон.

5. Установить этапы формирования отложений песчаных покровов и дюнного рельефа в магистральных речных долинах Центральной Якутии, на основе комплексных данных реконструировать характерные для них палеогеографические обстановки формирования.

**Объектами исследования** являются рельеф дюнных комплексов и покровные песчаные отложения, которые вскрываются в естественных обнажениях разновысотных речных террас в бассейне среднего течения р. Лены и нижнего течения р. Вилюй. **Предмет исследования** – возраст и природные обстановки времени их формирования.

**Фактический материал.** В основу работы положен фактический материал, собранный автором в ходе комплексных экспедиционных исследований в период с 2014 по 2022 гг. на 9 ключевых участках в долинах нижнего течения р. Вилюя (тукуланы Махатта и Кысыл-Сыр, высокая терраса и высокая пойма р. Вилюй), р. Суолы (местонахождение мамонтовой фауны «Мегинское» – первая и вторая надпойменные террасы) и среднего течения р. Лены (обнажения Харыялахское и Песчаная гора, тукуланы Саамыс-Кумага и Кысыл-Элэсин) (рис. 1). Автором выполнены описания ландшафтно-геоморфологических условий различных элементов изучаемой местности, получены комплексные данные для 23 разрезов, включая 13 спорово-пыльцевых колонок. Результаты лабораторных исследований получены автором лично (палинологический анализ 277 образцов) и в сотрудничестве с коллегами: гранулометрический (387 проб), минералогический (124 пробы), радиоуглеродный (71 проба) анализы на базе ИМЗ СО РАН, ОСЛ-датирование (8 проб) в лаборатории четвертичной геохронологии Геологического института (г. Таллин), а также на базе Института географии РАН (г. Москва) и Скандинавской лаборатории люминесцентного датирования (г. Орхус, Дания); палеоботаническое определение макроостатков (16 образцов) в лаборатории мерзлотного лесоведения ИБПК СО РАН (г. Якутск) и в отделе палеонтологии и стратиграфии СНИИГГиМС (г. Новосибирск).

**Методы исследований.** Для решения поставленных задач применен комплекс геоморфологических (метод ключевых участков, морфологический и др.) и литолого-стратиграфических методов, в том числе фациальный анализ с опорой на текстурно-структурный метод, данные количественного датирования (радиоуглеродный анализ, ОСЛ-датирование), гранулометрического (ситовой метод без промывки водой, ареометрический анализ), минералогического, спорово-

пыльцевого, палеокарпологического и палеоксилологического анализов. Для полученных результатов применены современные методы статистической обработки данных.

#### **Защищаемые положения:**

1. Покровные песчаные отложения (ППО) Центральной Якутии в магистральных речных долинах имеют эоловое происхождение, их формирование происходило неравномерно в период с конца МИС 5 до настоящего времени. Выделяется пять фаз повышенной эоловой активности и аккумуляции ППО: (1) ~80-30 тыс. л. н. (МИС 5a – МИС 3), (2) ~23-15 тыс. л. н. (последний глобальный ледниковый максимум и поздний плейстоценовый ледниковый максимум), (3) ~12.8-9.5 тыс. л. н. (похолодание позднего дриаса и ранний голоцен), (4) ~3.5-1.5 тыс. л. н. (поздний голоцен) и (5) ~XIV-XIX вв. (Малый ледниковый период). Максимальные мощности накопления ППО пришлись на интервал ~23-15 тыс. л. н.

2. Для покровных песчаных отложений, которые накапливались в интервале от ~80 – ~9.5 тыс. л. н., характерна литологическая ритмичность, проявляющаяся также в наличии двух групп спорово-пыльцевых спектров, отвечающих разным частям ритма. Эта ритмичность отражает фазы «активизации – аккумуляции» и «затухания – стабилизации» в динамике эоловых процессов и накоплении ППО, неоднократно сменявших друг друга с конца МИС 5 до начала МИС 1.

3. Неравномерность накопления покровных песчаных отложений Центральной Якутии определялась динамикой климатических условий. Как показывают спорово-пыльцевые данные, в условиях позднеплейстоценового криохрона их накопление происходило в наиболее холодные и сухие интервалы и прерывалось в короткие, относительно более теплые и влажные периоды, когда эоловые процессы затухали и песчаные поверхности закреплялись преимущественно полынно- и злаково-разнотравной растительностью. В межледниковых условиях эоловое осадконакопление и рельефообразование проявлялись в относительно прохладные и засушливые интервалы во второй половине голоцена.

**Достоверность результатов.** Достоверность полученных результатов определяется большим количеством изученных разрезов, тщательным соблюдением методических правил и приемов при отборе и технической подготовке образцов, значительным количеством изученных палинологическим методом проб, большим объемом данных инструментального датирования, обработанных с применением статистических методов, а также привлечением данных дополнительных методов исследования (гранулометрический, минералогический, палеокарпологический, палеоксилологический анализы). Надежность полученных результатов определяется проведенной корреляцией с современными климатостратиграфическими схемами, а также палеогеографическими реконструкциями в сопредельных регионах.

**Научная новизна исследования** заключается в том, что впервые получены массовые систематические данные о геологическом строении, возрасте, составе спорово-пыльцевых спектров ППО Центральной Якутии. Определена нижняя граница и уточнена верхняя граница формирования ППО, уточнены и расширены представления о литологических признаках ППО, впервые выявлена литологическая биогенно-эоловая ритмичность, отражающая периоды

«активизации – аккумуляции» и «затухания – стабилизации» отложений; реконструированы ландшафтно-климатические условия накопления ППО и установлены этапы их формирования.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные результаты существенно дополняют биостратиграфические данные, хроностратиграфическую схему и существующие представления о палеогеографии позднего неоплейстоцена Центральной Якутии. Детализирован фациальный состав, уточнены строение и возраст ППО в долине среднего течения р. Лены, р. Суолы и р. Виллюя, выявлена нижняя граница и уточнена верхняя граница формирования ППО в позднем неоплейстоцене и раннем голоцене. Результаты исследования будут востребованы при геологическом, геоморфологическом, мерзлотно-ландшафтном и инженерно-геологическом картографировании, уточнении региональной стратиграфической схемы четвертичных отложений, прогнозировании возможных сценариев изменений климата и ландшафтов Центральной Якутии и Восточной Сибири, при поиске и разработке россыпных месторождений (драгоценных металлов, редкоземельных элементов и др.) и нерудных полезных ископаемых (например, песка), проектировании и строительстве линейных и нелинейных объектов инфраструктуры.

**Личный вклад автора.** С 2014 по 2020 гг. автор непосредственно участвовал в экспедиционных исследованиях в долинах нижнего течения р. Виллюй, р. Суолы и среднего течения р. Лены, включающих комплексные описания ландшафтных комплексов, заложение геоморфологических профилей, ключевых разрезов и отбор проб на различные виды анализов. В полевых и лабораторных условиях проведен гранулометрический анализ песчаных образцов ситовым методом без промывки водой (более 300 проб). Выполнена лабораторная пробоподготовка для спорово-пыльцевого анализа и микроскопическое исследование для 277 образцов. Произведена обработка палинологических, гранулометрических и минералогических данных (статистический расчет и анализ, построение графиков и диаграмм, интерпретация результатов, корреляция с другими разрезами и палеогеографические реконструкции), построение геологических разрезов и возрастных моделей. Все рисунки и диаграммы (если не указано иное со ссылкой на источник) построены автором в специализированном программном комплексе Tilia [Grimm, 1991, 2004], при помощи пакета Bacon\_2.2 [Blaauw, Christen, 2011] в среде R [R: A language ..., 2013], OxCal [<https://c14.arch.ox.ac.uk/oxcal.html>], в программах CorelDraw, Grapher и Microsoft Office Excel.

**Апробация и публикация результатов исследований.** Защищаемые положения работы и промежуточные результаты были представлены на 13 международных и всероссийских конференциях и совещаниях: IX и X всероссийские совещания по изучению четвертичного периода (Иркутск, 2015; Москва, 2017), VII «Шукинские чтения» (Москва, 2015, всероссийская школа-конференция «Биогенные архивы ландшафтных изменений прошлого» (Новосибирск, 2016), XI и XIV международные конференции «Геология в развивающемся мире» (Пермь, 2018, 2021), XIV всероссийская палинологическая конференция (Москва, 2017), IV всероссийская конференция «Современные проблемы географии и геологии» (Томск, 2017), V всероссийская научная конференция «Динамика экосистем в голоцене» (Москва, 2019), XXIV

международный научный симпозиум «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2020), всероссийские научные конференции: «Пути эволюционной географии» (Москва, 2016), «Устойчивость природных и техногенных систем в криолитозоне» (Якутск, 2020), «Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек» (Волгоград – Астрахань, 2023).

По теме диссертации опубликовано 20 работ, в том числе 5 статей в журналах из списка ВАК, 4 статьи в других периодических изданиях, индексируемых в РИНЦ, 11 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийских научных совещаний и конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация объемом 270 страниц включает введение, 5 глав, заключение, 66 рисунков, 27 таблиц, список литературы из 254 наименований, 54 из которых на иностранных языках, 5 приложений, включающих 20 таблиц и 6 фототаблиц.

**Благодарности.** Автор выражает огромную благодарность своему безвременно ушедшему из жизни первому научному руководителю д.г.н. А.А. Галанину за помощь в выборе тематики исследования, за советы, наставления и всестороннюю поддержку. Глубокую признательность выражаю научному руководителю д.г.н. А.В. Панину за содействие в продолжении работы над диссертацией, за критические замечания и рекомендации, за всестороннюю помощь и поддержку в доведении работы до логического завершения. Автор искренне благодарен д.г.н. Н.А. Рудой и Н.Т. Бакулиной за обучение, поддержку и консультации по проведению спорово-пыльцевого анализа, д.г.н. О.К. Борисовой и д.б.н. Т.А. Бляхарчук за всесторонние консультации по вопросам палеогеографической интерпретации результатов. Автор очень признателен д.б.н. А.П. Исаевой и к.г.н. М.В. Михаревич за палеоботанический анализ макроостатков, сотрудникам ИМЗ СО РАН за помощь в организации полевых и камеральных работ (Г.И. Шапошникову, В.М. Лыткину, Н.В. Торговкину), за всесторонние консультации д.г.-м.н. В.Е. Тумскому, в проведении лабораторных исследований, в частности, Г.И. Шапошникову – за помощь в проведении радиоуглеродного датирования, И.В. Климову – за проведение минералогического анализа, А.Н. Васильевой – за выполнение ОСЛ-датирования части образцов, А.Л. Лобанову и Н.Н. Ремизовой – за выполнение гранулометрического анализа ареометрическим методом.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Глава 1. Изученность песчаных покровов Центральной Якутии

В главе приводится обзор опубликованных работ, посвященных *плейстоценовым покровным песчаным отложениям* [Шофман, 1974; Колпаков, 1983; Алексеев и др., 1984; Камалетдинов, Зигерт, 1989; Зигерт и др., 2007; Камалетдинов, Минюк, 1991; Галанин и др., 2015, 2016, 2018, 2021; Урбан, Галанин, 2013; Куть, 2015; Большиянов и др., 2016; Спектор и др., 2016, 2017; Правкин и др., 2018; Waters et al., 1999 и др.], *различным аспектам современных покровных песчаных отложений* (тукуланов) [Маак, 1883; Кузнецов, 1929; Работнов, 1935; Благовидов, 1935; Коржуев, 1953; Невяжский, Биджиев, 1960; Катасонова, Толстов, 1963; Герасимов, 1969; Скрябин и др., 1971; Бойцов, Шепелев, 1976; Григорьев, Павлов, 1977; Павлов, 1977, 1979, 1981; Штейнберг, 1981; Пономарева, 1999 и др.], а также *палинологическим исследованиям четвертичных отложений*, включая ППО

Центральной Якутии [Алабышев, 1932; Коржевин, 1934; Тихомиров, 1941; Попова, 1954, 1955, 1959, 1968, 1970, 1972, 1975, 1981; Караваев, 1955; Гитерман, 1960, 1963; Шофман, Прокопчук, Пахомова, 1964, 1975; Андреев и др., 1989, 1992, 1997, 2002; Бакулина, 2000, 2015 и др.].

Обзор литературных данных показывает, что вопрос генезиса ППО до настоящего времени остается дискуссионным (аллювиальная и подпрудноледниковая гипотезы, гипотеза морских трансгрессий). У ряда исследователей до сих пор вызывает сомнение эоловое происхождение ППО, по-другому трактуются основные диагностические признаки, не до конца понятны источники сноса и механизмы транспортировки отложений [Спектор, Спектор, 2002; Спектор и др., 2003, 2008, 2016, 2017; Большиянов и др., 2013, 2016; Правкин и др., 2018; Поморцев и др., 2017]. Еще один вопрос – это возраст ППО, в частности определение времени начала их формирования и времени максимального развития эоловых процессов и максимальных темпов осадконакопления. На сегодняшний день слабо освещены также вопросы биостратиграфии ППО, практически отсутствует палеоботаническая характеристика их отложений.

Перечисленные обстоятельства затрудняют понимание условий формирования ППО, корреляцию их с другими типами отложений, а также выполнение реконструкции истории формирования позднечетвертичного рельефа, отложений и криолитозоны Центральной Якутии и Восточной Сибири в целом.

## **Глава 2. Физико-географическая характеристика района исследования**

В главе по литературным данным рассматриваются геологическое и геоморфологическое строение, современный климат, мерзлотно-гидрогеологические условия и растительный покров Центральной Якутии.

## **Глава 3. Материалы и методы исследования**

В главе описаны полевые, лабораторные и статистические методы, которые использовались в данном исследовании. Полевые методы включали маршрутные наблюдения в долине рек Вилюй, Суола и Лена в среднем течении (рис. 1) с заложением ключевых участков с описанием ландшафтно-геоморфологических условий различных элементов изучаемой местности, зачистку и заложение разрезов, включающих ППО, с описанием геологического строения (гранулометрический состав, текстурные особенности, цвет пород, характер контактов, влажность, наличие органических остатков и пр.), отбор образцов на различные виды анализов.

Применен ряд лабораторных методов: гранулометрический (ситовой без промывки водой и ареометрический), минералогический (иммерсионный), спорово-пыльцевой и карпологический анализы, методы геохронологии (для органического материала – радиоуглеродный анализ, выполненный методом жидкостной сцинтилляции; для песчаных и супесчаных отложений – метод оптически стимулированной люминесценции), а также методы статистической обработки данных. Детали применения каждого метода подробно рассмотрены в тексте диссертационной работы.



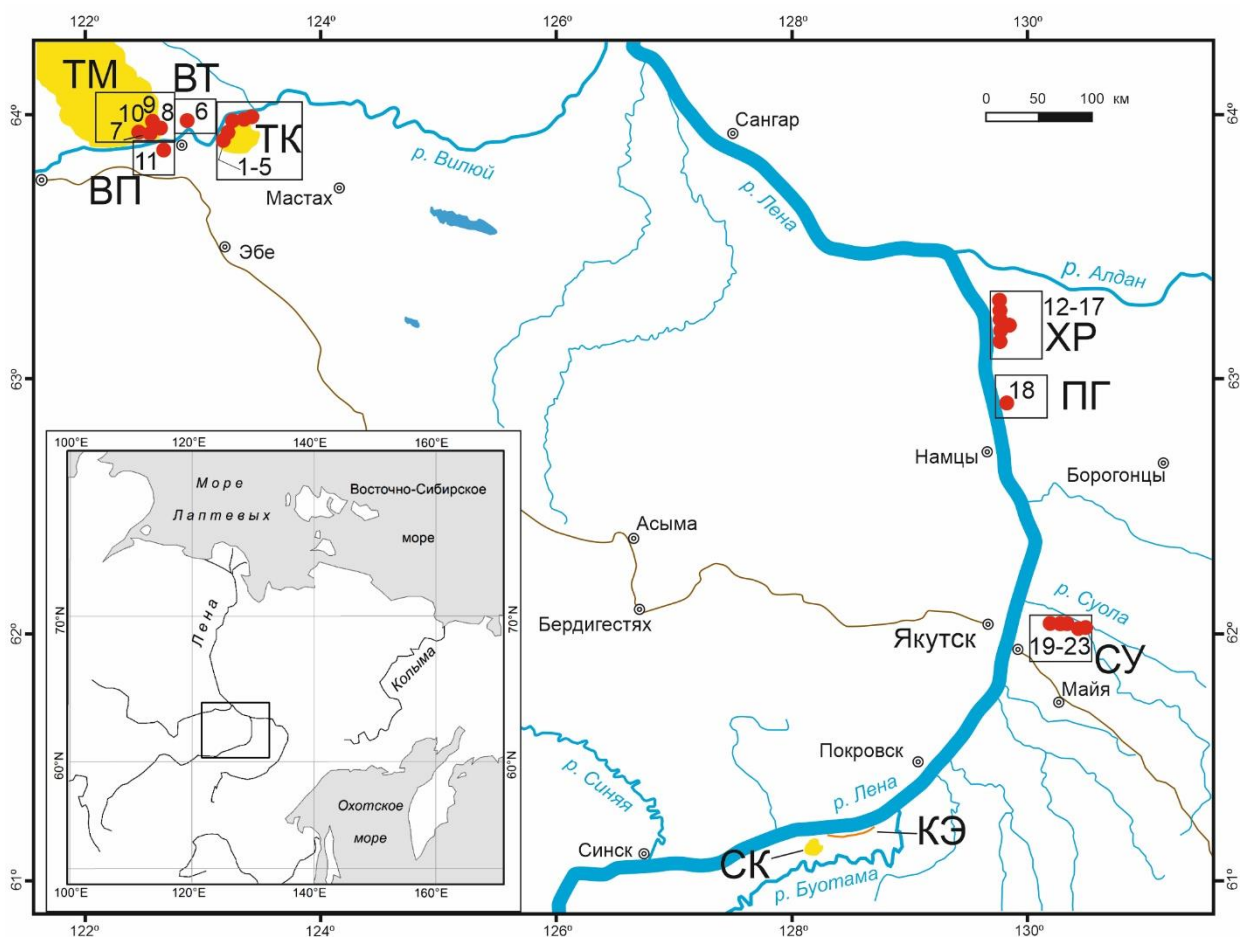


Рис.1. Карта-схема расположения ключевых участков и разрезов.

ТК – тукулан Кысыл-Сырский: 1 – № 366, 2 – № 449, 3 – № 22, 4 – № 487, 5 – № 67; VT – высокая терраса р. Вилюй: 6 – № 052-058; ТМ – тукулан Махатта: 7 – № 071, 8 – № 088, 9 – № 075, 10 – № 047; VP – высокая пойма р. Вилюй: 11 – № 140; XР – Харылахское обнажение: 12 – № 412, 13 – № 482, 14 – № 418, 15 – № 413, 16 – № 414, 17 – № 415; ПГ – обнажение Песчаная гора: 18 – № 537; СУ – долина р. Суолы: 19 – № 180, 20 – № 174, 21 – № 174 б, 22 – № 175, 23 – № 177; КЭ – тукулан Кысыл-Элэсин; СК – тукулан Саамыс-Кумага.

#### Глава 4. Разрезы покровных песчаных отложений Центральной Якутии

В главе представлены результаты комплексного изучения 23 разрезов на 9 ключевых участках распространения ППО в пределах магистральных речных долин Центральной Якутии, в частности, в долинах нижнего течения р. Вилюй, р. Суолы и среднего течения р. Лены (рис. 1), а также данные по другим генетическим типам позднечетвертичных и современных отложений изучаемого региона. Получены данные гранулометрического (387 проб, из них 104 – ППО) и минералогического анализов (124 пробы, из них 44 – ППО), количественного датирования (71 проба  $^{14}\text{C}$ , 8 проб ОСЛ), палеоботанического определения макроостатков (16 образцов, из них 4 – ППО); построены 13 спорово-пыльцевых диаграмм на основе обработки 277 образцов (включая 126 из верхнеплейстоценовых ППО и 18 из позднеголоценовых ППО). В автореферате представлены результаты по наиболее типичным из изученных разрезов.

#### 4.1. Долина нижнего течения р. Вилюй

Обнажение тукулан Кысыл-Сыр ( $63^{\circ}54'$  с. ш.,  $123^{\circ}16'$  в. д.) приурочено к береговому обрыву высотой до 35 м и протяженностью более 3 км. Здесь были заложены разрезы № 366, № 449, № 487, № 22, № 67 (рис. 2). ППО залегают на аллювиальной толще в интервале высот от меженного уровня реки 10(12)-35 м. Согласно литологическим исследованиям и данным количественного датирования (25 дат), пачки разделены на нижнюю мощностью до 20 м возраста МИС 2 и верхнюю позднеголоценовую мощностью в разных разрезах от 5 до  $> 20$  м, разделенные поверхностью палеорельефа, которая фиксируется горизонтом погребенной эмбриональной палеопочвы.

65-метровая высокая терраса р. Вилюй, разрез № 052-058 ( $63^{\circ}56'58''$  с. ш.,  $122^{\circ}52'48''$  в. д.). ППО залегают в интервале глубин 5(8)-51 м на аллювиальных отложениях с подстилающим коренным цоколем меловых песчаников и перекрыты отложениями ледового комплекса. Для разреза получено 12 дат, что позволило отнести ППО к МИС 5 – МИС 3. Для разреза получена одна из наиболее полных спорово-пыльцевых диаграмм (рис. 3).

Юго-восточная часть тукулана Махатта ( $63^{\circ}54'50''$  с. ш.;  $122^{\circ}32'46''$  в. д.), разрезы № 088, № 071, № 075 и № 047. Получено 17  $^{14}\text{C}$  и 2 ОСЛ-дат. ППО МИС 2 возраста отмечены в разрезах № 075 (интервал 0.2-2.6 м) и № 047 (0.2-7.1 м), позднеголоценовые – № 088, № 071 и верхних частях разрезов № 075 и № 047.

Высокая пойма р. Вилюй, разрез № 140 ( $63^{\circ}54'58''$  с. ш.,  $122^{\circ}32'38''$  в. д.). В строении вскрываются позднеголоценовые пойменные отложения. ППО не выявлены.

#### 4.2. Долина р. Суолы

Местонахождение мамонтовой фауны Мегинское (Суольское), расположенное в 30 км к северо-востоку от п. Нижний Бестях, приурочено к первой и второй надпойменным террасам р. Суолы. Заложено пять разрезов – №174, №174б, № 175, №177, №180 (рис. 4). ППО вскрыты в интервале высот 7.5-18 м от меженного уровня реки и залегают преимущественно на аллювиально-озерной толще мавринской свиты (рис. 5). Возраст отложений отнесен к МИС 2 – начало МИС 1 (8  $^{14}\text{C}$  дат).

#### 4.3. Долина среднего течения р. Лены

Обнажение Песчаная гора ( $62^{\circ}88'21''$  с. ш.;  $129^{\circ}80'68''$  в. д.), правобережье р. Лены в 60 км выше устья р. Алдан. Это береговой обрыв третьей (кердёмской) надпойменной террасы р. Лены, имеющий протяженность более 7 км. В разрезе № 537 вскрыты отложения ППО, разделенные на две пачки: в интервале высот от меженного уровня реки 10-17 м – нижняя и 17.4-20 м – верхняя. Пачки разделены поверхностью дефляции с фрагментами палеопочвы мощностью до 0.4 м. Согласно литологическому положению и данным количественного датирования (12  $^{14}\text{C}$  дат) формирование толщи отнесено к МИС 2.

Харыялахское обнажение ( $63^{\circ}09'52''$  с. ш.,  $129^{\circ}43'52''$  в. д.), правобережье р. Лены вблизи устья р. Алдан, третья надпойменная терраса р. Лены. Протяженность обнажения составляет более 2 км, высота – до 18-25 м. В пределах обнажения заложены разрезы № 412, № 413, № 414, № 415, № 482. ППО, разделенные палеопочвенными горизонтами, вскрыты в интервалах высот от меженного уровня реки 3.7-6 м, 6.4-8(9)м и 9.4-16 (20) м (рис. 5).



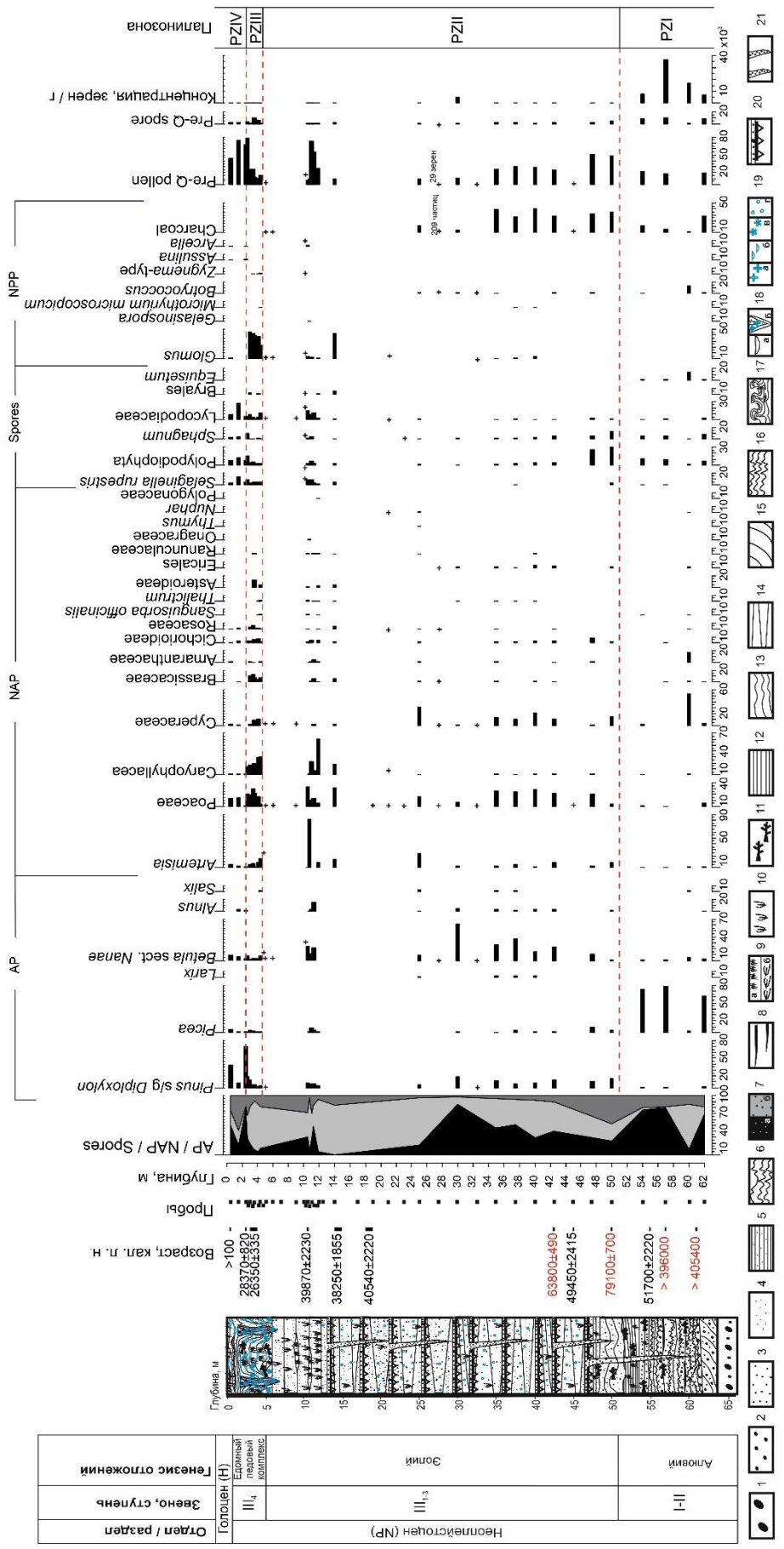


Рис. 3. Геологическое строение и палинологическая диаграмма разреза № 052-058 позднечетвертичных отложений, высокая терраса р. Вилюй. 1 – гальки; 2 – гравий; 3 – пески среднерзистые; 4 – пески мелкозернистые; 5 – суглинки легкие; 6 – супеси пылеватые с тонкими (1 мм) ритмичными прослоями суглинков; 7 – гумус с примесью песка (а) и песок с примесью гумуса (б); 8 – тонкие прослой и линзы аллохтонного растительного детрита; 9 – кустарничковый (а) и травянистый (б) торф; 10 – отмершие вертикально погребенные стебли и куртины злаков; 11 – горизонтально захороненные ископаемые деревья; *Текстура отложений*: 12 – горизонтальная; 13 – волнистая; 14 – линзовидная; 15 – косослоистая; 16 – пloyичатая; 17 – диапирная; 18 – линзовидная; 19 – тонкие линзы и шпiры сублимационных льдов (а), вертикальные ледяные жилы полигонального типа (б); 20 – криотекстуры цементирующего льда: а – массивная, б – мелкоячеистая, в – гнездовидная сублимационная, г – контактная сублимационная; 21 – сухо-мерзлые син- и эпигенетические жилы; Черным цветом обозначены радиоуглеродные даты, красным цветом.

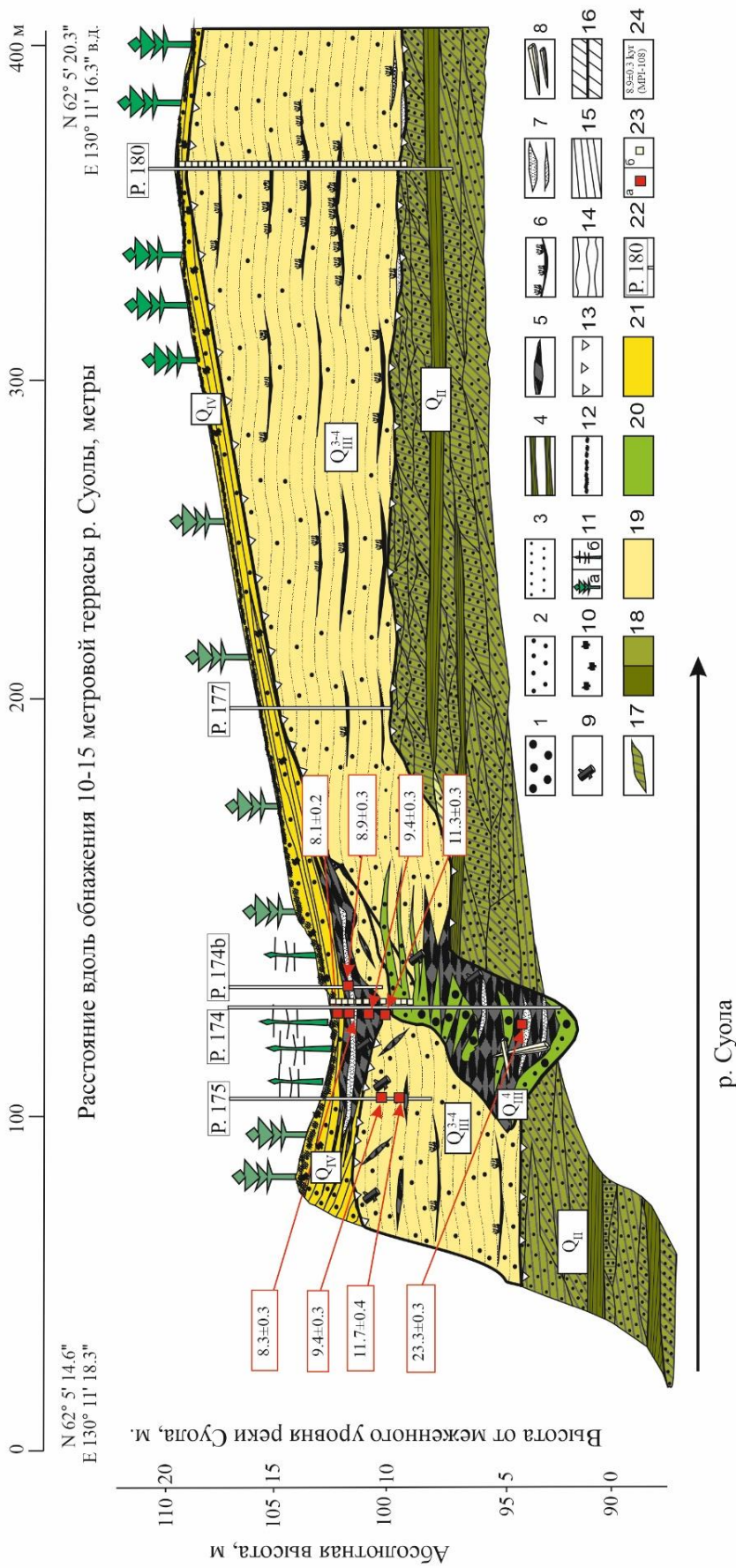


Рис.4. Геологическое строение сводного разреза четвертичных отложений на участке обнаружения мамонтовой фауны «Мегинское», долина р. Суолы. 1 – пески среднезернистые; 2 – пески мелкозернистые; 3 – суглеси пылеватые; 4 – суглинки тяжелые глееватые; 5 – торф травянисто-кустарничковый мерзлый; 6 – эмбриональные палеочерновые горизонты с корешковой органикой (in situ); 7 – линзы и прослой крупных фрагментов травянистой и кустарничковой растительности; 8 – остатки мамонтового биома; 9 – крупные остатки древесной растительности (стволы, ветки и пр.); 10 – скопление древесных угольков; 11 – древесная растительность: а – сосна обыкновенная, б – лиственница каяндера; 12 – современный почвенно-растительный покров; 13 – дефляционные стратиграфические несогласия. Структура отложений: 15 – слабо горизонтально-волнистая, 16 – перекрестно-слоистая, 17 – линзовидно-микро-кослоистая. Фации отложений: 18 – озерно-аллювиальные среднеолейстоценовые (мавринская свита), 19 – ППО МИС 2; 20 – позднеолейстоценовый аллювий (русловая фация), 21 – позднеголоценовые ППО. Прочие обозначения: 22 – положение и номера опорных разрезов; 23 – точки отбора проб: а – на радиоуглеродное датирование, б – гранулометрический и спорово-пыльцевой анализ; 24 – радиоуглеродные даты (калиб. тыс. л. н.) и их лабораторные номера.

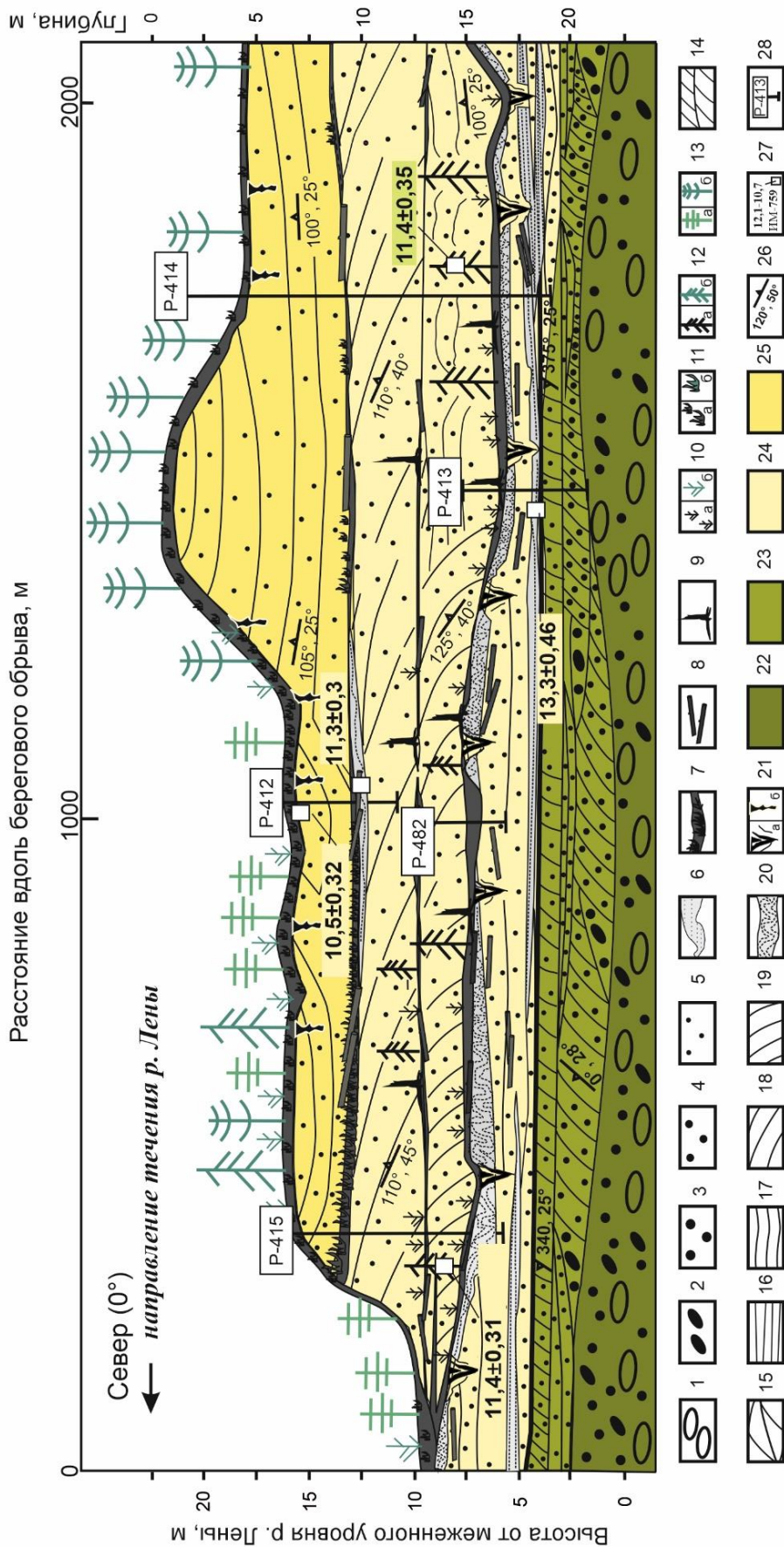


Рис.5. Геологическое строение сводного разреза Харылахского обнажения, долина среднего течения р. Лены [по Галанин, 2020]. 1 – гальки, 2 – гравий, 3 – пески крупнозернистые, 4 – пески среднезернистые, 5 – пески мелкозернистые, 6 – прослой супесей пылеватых, 7 – торфяники и фрагменты палеопочв, 8 – древесный плавник; 9 – древесные пни с корневой системой; 10 – кустарники; (а) ископаемые, (б) современные; 11 – сфагновые мхи; (а) ископаемые, (б) современные; 12 – листовенца; (а) ископаемая, (б) современная; 13 – древовидная береза (а) и сосна (б); *текстуры*: 14 – косая, 15 – линзовидная; 16 – горизонтальная слабонаклонная; 17 – пологоволнистая; 18 – перекрестно-слоистая, 19 – крутонаклонная; 20 – структуры седиментационных инволюций и криогурбаций; 21 – песчаные клинья и жилы (а) и гумусовые желваки и жилы (б); 22 – аллювиальные (русловые) отложения бесступенчатых аллювий; 23 – верхнеплейстоценовый аллювий; 24 – ППО МИС 2; 25 – поднеголоценовые ППО; 26 – азимут простирания и угол падения слоев; 27 – радиоуглеродные даты (тыс. л. н.) и их лабораторные номера, 28 – разрезы, по которым выполнено опробование.

На основании 6  $^{14}\text{C}$  дат нижняя пачка отнесена к межстадиалу бёллинг-аллерёд, вторая – к похолоданию позднего дриаса, третья – к позднему голоцену. Также в 3 км от Харыялахского обнажения вскрыты раннеголоценовые аллювиально-старично-болотные отложения, перекрытые ППО позднего голоцена (№ 418).

Тукуланы Кысыл-Элэсин и Саамыс-Кумага (рис. 1), в пределах которых получены данные по современным ППО. В пределах тукулана Саамыс-Кумага отобрана проба погребенного дерева, из которого получена  $^{14}\text{C}$  дата  $240\pm 90$ , или  $250\pm 135$  кал. л. н. (MPI-168).

Во всех исследованных спорово-пыльцевых спектрах верхнеплейстоценовых ППО пыльца и споры практически отсутствуют, за исключением супесчаных прослоев и эмбриональных палеопочв, где преобладает пыльца трав и кустарничков (до 55.8-82.4 %). В спектрах ППО позднего голоцена пыльца и споры присутствуют в очень малом количестве, с преобладанием пыльцы деревьев до 95%, преимущественно *Pinus s/g. Diploxylon*.

## **Глава 5. Возраст и условия формирования покровных песчаных отложений Центральной Якутии**

### **5.1. Генезис покровных песчаных отложений**

#### **5.1.1 Механизм накопления отложений по данным текстурного анализа**

Во всех изученных разрезах верхнеплейстоценовых ППО отмечена *сезонная циклическая слоистость (ритмичность)*, которая является одним из основных признаков эолового генезиса отложений. Она проявляется в виде чередования песков светло-желтых (иногда светло-серых) мощностью от 5 до 15-20 см (летние слои), иногда до 40 см, с супесями темно-серыми мощностью от нескольких миллиметров до 1-3 см слабо-горизонтально волнистых и пологоволнистых (зимние слои) (рис. 6). Такая слоистость свидетельствует о том, что в зимние периоды отмечалось затухание эоловой активности вследствие смерзания дюн и образования на их поверхности снежного покрова, на который осаждались темные пылеватые частицы. В теплый сезон происходило оттаивание поверхности дюн, активизация дефляции в области сноса и аккумуляция нового слоя песчаного материала на дюнах.

К песчаным пачкам отложений ППО приурочены структуры, формирующиеся при эоловом осаждении: а) на сухую поверхность седиментации (перекрестная мезослоистость или слоистость осыпания подветренного склона дюн, слойчатость восходящей ряби, трансляционная псевдослоистость, горизонтальная и волнистая слоистость); б) на влажные, мокрые или покрытые снегом поверхности дюн и при отсутствии дефляции (разные типы адгезионной слоистости – волнистая, извилистая, параллельная и др., полигенетические типы структур, например, адгезионная слойчатость осыпания [Галанин, 2021], денивационные структуры).

Также в отложениях ППО отмечается охристая псевдослоистость или эпигенетическая полосчатость, указывающая на то, что происходило сингенетическое промерзание отложений и последующее их оттаивание в теплые периоды, и соотносится с подошвой сезонно-талого слоя, которая по мере накопления песчаного материала двигалась вверх. О промерзании отложений ППО свидетельствуют и эпигенетические песчаные трещины, жилки и псевдоморфозы.

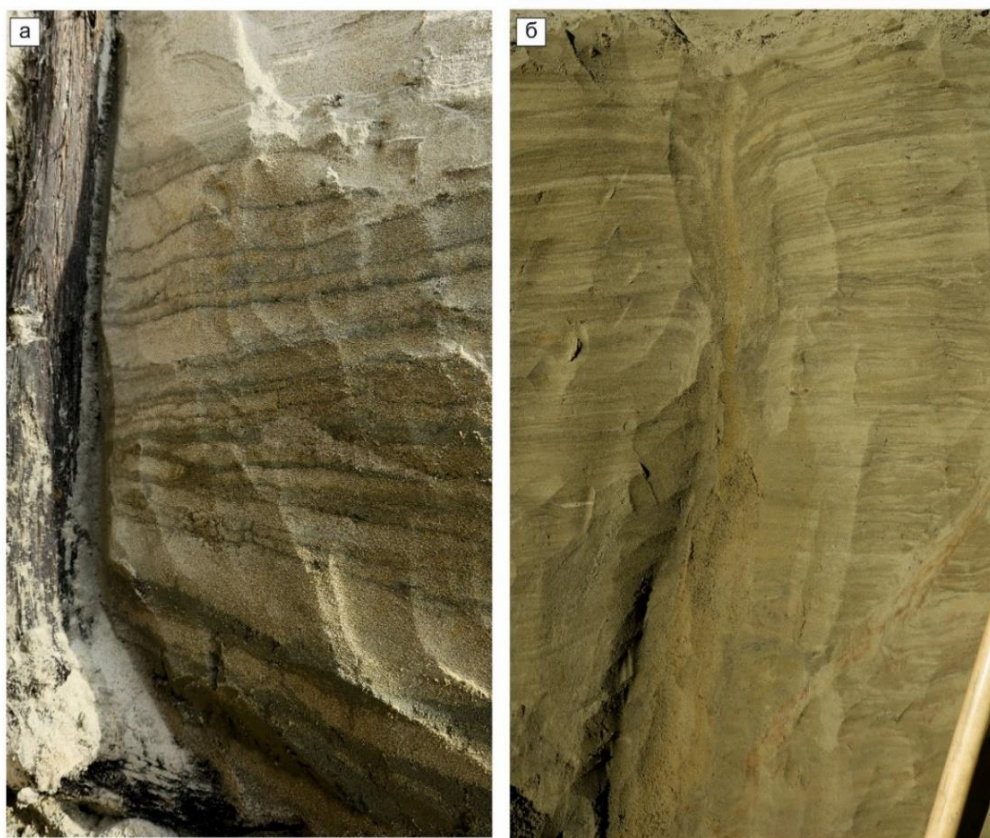


Рис.6. Сезонная циклическая слоистость в верхнеоплейстоценовых покровных песчаных отложениях: а – разрез № 414, в отложениях вскрывается вертикально погребенное дерево, Харыялахское обнажение (фото М.Р. Павловой, 2018), б – обнажение тукулан Линде, в отложениях вскрывается эпигенетическая морозобойная трещина (фото М.Р. Павловой, 2022).

Периодически в ППО отмечаются прослой крупных песков с примесью гравия мощностью 0.5-1.5 см, иногда залегающие линзовидно – следы погребенных поверхностей дефляции, к которым иногда приурочены скопления ветрогранников.

*Биогенно-эоловая ритмичность* проявляется практически во всех исследованных разрезах, включающих отложения ППО. Она образована чередованием слабоволнистых дерново-суглинистых или супесчаных слоев с тонкими прослоями органического детрита толщиной от нескольких миллиметров до 3-4 см, чаще всего от 3-5 мм, и светло-желтых песчаных прослоев мощностью от 10-20 см до 12 м. Ее формирование связано с непродолжительными эпизодами закрепления отдельных участков дюн травянистой растительностью и дальнейшим развитием эмбриональных почв. Вблизи кровли ППО широко распространены изолированные интенсивно насыщенные растительными остатками «комки» разнообразной формы и наклонные жилы.

### 5.1.2. Характерные черты гранулометрического состава

В разделе представлены обобщенные результаты гранулометрического состава ППО и других фаций верхнеоплейстоценовых и современных отложений изучаемого региона для выявления характерных черт ППО.

Согласно полученным данным, установлено, что в отложениях верхнеоплейстоценовых ППО преобладают летние песчаные прослой (96 проб),



сложенные мелко- и среднезернистыми песками со средним размером частиц  $184 < X < 258$  мкм, имеющие умеренную сортировку. Асимметрия большинства проанализированных проб имеет отрицательные значения, что свидетельствует о преобладании классов с большей размерностью частиц и выносе мелких фракций. Зимние прослои (7 проб) сложены супесями пылеватыми со средним размером частиц  $56 < X < 86$  мкм, характеризуются плохой сортировкой и отрицательной асимметрией. Поверхность дефляции (1 проба) характеризуется накоплением крупного песка и примесью мелкого гравия ( $X = 981$  мкм), умеренной сортировкой и отрицательной асимметрией.

Гранулометрический состав верхнеплейстоценовых ППО по статистическим характеристикам имеет сходство с позднеголоценовыми и современными отложениями дюнных массивов и существенно отличается от большинства фаций аллювиальных отложений. Позднечетвертичный и современный аллювий отличается от ППО более широкой вариацией гранулометрического состава по разрезу и по латерали, а также значительной изменчивостью статистических коэффициентов. Например, средне- и верхнеплейстоценовый аллювий представлен супесями и песками со средним размером частиц от 46 до 714 мкм, характеризуется умеренной и плохой сортировкой, асимметрией, лежащей в широком диапазоне от -0.20 до 0.26. Это связано со значительной вариабельностью среды осадконакопления как в пространстве, так и во времени – например, накоплением на одном и том же участке наносов более крупных фракций в половодье и более тонких в период межени.

### 5.1.2.3. Характерные черты минералогического состава

В разделе представлены обобщенные результаты изучения минералогического состава ППО и других фаций неоплейстоценовых и современных отложений изучаемого региона для выявления характерных черт ППО.

Согласно полученным данным (44 пробы), в верхнеплейстоценовых ППО преобладают минералы легкой фракции с доминированием кварца (от 43.3 до 56.2 % в долине среднего течения р. Лены и от 73.7 до 90.6 % в долине р. Виллой). Зерна кварца, как правило, имеют округлую форму, чистые, прозрачные, местами поверхность покрыта бурыми подтеками и гидроокислами железа, наличие которых свидетельствует о субаэральном эоловом преобразовании осадка. Также в составе отмечаются полевые шпаты (28.1-43.7 % в долине р. Лены, 6.4-25.3 % в долине р. Виллой), обломки песчаников, окислы железа и единичные слюды; в отложениях долины р. Лены отмечаются также карбонаты и хлорит.

Выход тяжелой фракции (удельный вес  $> 2.9$ ) составляет  $< 0.001$  % в отложениях долины р. Виллой (в составе единичные зерна граната, эпидота, пироксена, ильменита и лейкоксена) и  $< 0.1$  % в долине среднего течения р. Лены где преобладают амфиболы (2.5-8.4 %), отмечаются зерна циркона, эпидота, пироксенов, граната и магнетита. Коэффициент мономинеральности (Км) в долине р. Виллой составляет 3.7-14.2, в долине р. Лены – 1-1.8.

Различия минерального состава ППО в долинах р. Виллой и р. Лены объясняются транспортировкой материала из разных питающих провинций [Коссовская, 1962]. Разрезы долины средней Лены приурочены к Якутско-Синской

гранат-цирконовой подпровинции, формирование которой связано с денудацией кристаллического фундамента в пределах Алданского и Станового нагорий. Источником четвертичных отложений (в том числе аллювия) здесь являются юрские граувакково-кварцевые песчаники с содержанием кварца 50-66 %, наличием цирконов и высокими концентрациями магнетита. Разрезы долины р. Вилюй приурочены к Вилюйско-Тюнгской эпидотово-ильменитово-амфиболовой минералогической провинции, источниками сноса для которой являются архейско-протерозойские кристаллические породы Патомского нагорья. Непосредственными источниками четвертичного аллювия и ППО являются олигомиктово-кварцевые песчаники верхнего мела, которые обогащены кварцем и крайне обеднены тяжелыми минералами. Это хорошо объясняет высокое содержание кварца (80-95 %) и весьма низкое содержание магнетита в отложениях ППО в разрезах, вскрытых в долине нижнего течения р. Вилюй.

## **5.2. Геохронология покровных песчаных отложений Центральной Якутии**

Исходя из проведенного стратиграфического расчленения толщ во вскрытых разрезах и полученного массива дат (рис. 7), складывается следующая история накопления ППО Центральной Якутии. Большая часть ППО залегает на аллювиальных и аллювиально-озерных отложениях (мавринская свита), формировавшихся в основном в период с середины среднего до первой половины позднего неоплейстоцена [Колпаков, 1983; Камалетдинов, Минюк, 1991; Галанин, 2021]. Согласно полученным данным, формирование ППО началось местами уже около 80 тыс. л. н., что соотносится с III<sub>2</sub> ступенью неоплейстоцена и морскими изотопными стадиями (МИС) 5а и 4, когда отмечалось общепланетарное увеличение суровости и континентальности климата.

Накопление ППО шло неравномерно. Так, на высоких террасах р. Вилюй (разрез № 052-058) они накапливались от ~80 до ~29 тыс. л. н., что соответствует III<sub>2</sub>-III<sub>3</sub> ступеням неоплейстоцена и МИС 5а – МИС 3. В пределах Кысыл-Сырского обнажения в это время, в частности, около 45-30 тыс. л. н. [Галанин, Павлова, 2019], происходило накопление аллювиальных отложений.

На начало МИС 2 (~29-26 тыс. л. н.) приходится относительно низкая активность эоловых процессов в Центральной Якутии (например, отмечено осадконакопление в пределах Усть-Буотамского обнажения, которое пришлось на конец МИС 3 – начало МИС 2 [Vasil'eva et al., 2024]). В интервале ~26-15 тыс. л. н., включая глобальный ледниковый максимум плейстоцена (LGM ~26-19 тыс. л. н. по [Cohen, Gibbard, 2019]), интенсивность эолового рельефообразования и аккумуляция ППО очень сильно возрастают, и достигают наибольших широких масштабов ~23-15 тыс. л. н. Об этом свидетельствует широкая встречаемость в разрезах Центральной Якутии ППО данного возраста: долина р. Вилюй, тукулан Кысыл-Сыр [Галанин, Павлова, 2019]; тукулан Махатта (разрезы № 047 и № 075); долина р. Суолы, долина р. Линде [Павлова и др., 2024], долина среднего течения р. Лены – обнажения Харыялахское, Кыллахское, Песчаная гора [Галанин и др., 2021], Усть-Буотамское [Галанин и др., 2021; Vasil'eva et al., 2024], Диринг-Юрях [Lukyanucheva et al., 2024]. Мощность отложений варьирует от 2.5 до 70 и более метров.

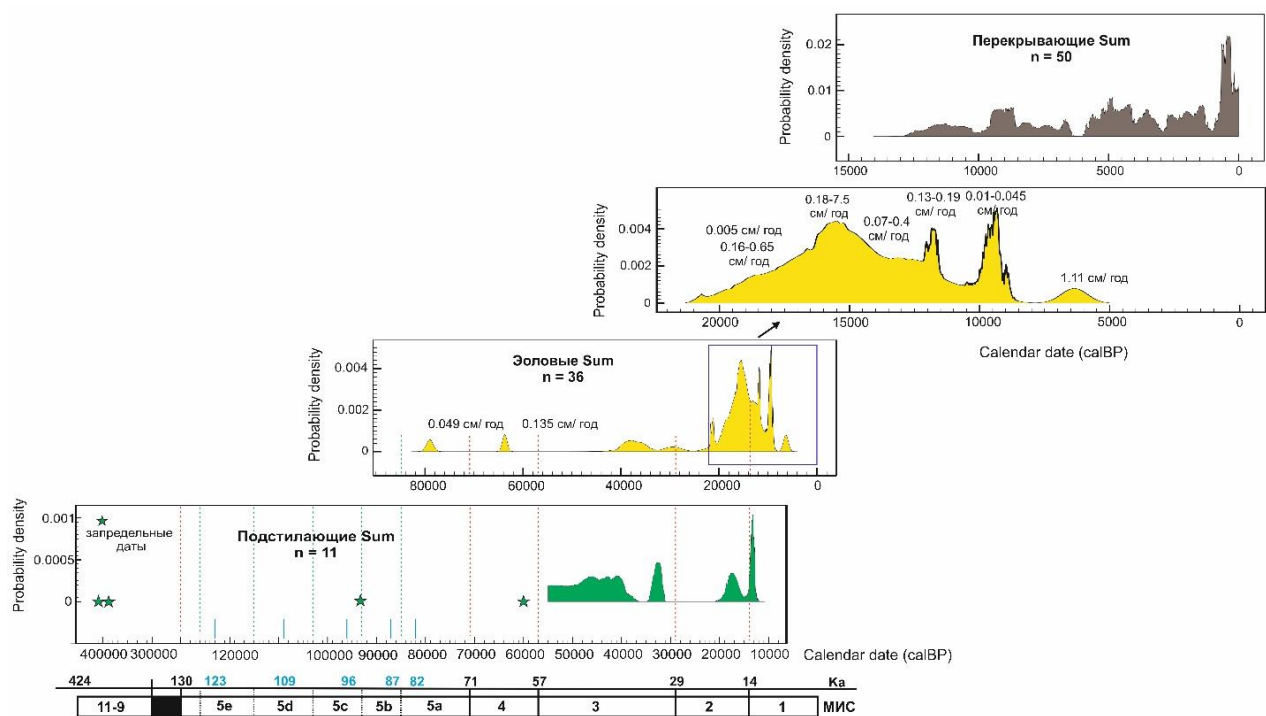


Рис. 7. Суммированные массивы классифицированных дат (подстилающие, эоловые, перекрывающие) по разрезам, содержащие покровные песчаные отложения.

Около 15 тыс. л. н. начинается снижение эоловой активности, и растительные сообщества постепенно заселяют и закрепляют песчаные пространства. Этот процесс шел неравномерно и продолжался вплоть до похолодания позднего дриаса (до 12.8 тыс. л. н.).

Позднедриасовое похолодание (GS-1, 12.8-11.7 тыс. л. н.) способствовало новой активизации эоловых процессов и аккумуляции ППО. На рубеже позднего дриаса – начало раннего голоцена местами происходило закрепление эоловых песков растительным покровом. Наиболее активное закрепление ППО происходило в период 7-4.5 тыс. л. н.

С конца среднего голоцена отмечались интенсивные пожары, что подтверждается протяженными горизонтами обожженной палеопочвы с множеством углей и остатками обожженных стволов деревьев, подстилающих пачки современных дюнных отложений исследованных тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр (например, даты по обожженной древесине –  $4890 \pm 160$ ,  $5050 \pm 140$  кал. л. н., см. таб. 1, МРІ-13 и МРІ-47), Усть-Буотамское обнажение –  $5500 \pm 270$  кал. л. н., МРІ-174 [Васильева и др., 2024] и др.). Активизации эоловых процессов в период ~ 3.5-1.5 тыс. л. н., по-видимому, способствовали пожары. Об этой активизации свидетельствуют наличие прослоев эолового песка в торфянике начиная со времени около 3.5 тыс. л. н. в разрезе № 088 (дата с глубины 3.6 м,  $3450 \pm 230$  кал. л. н., МРІ-90), чередование детритовых и эоловых прослоев в разрезе № 071 (дата с глубины 7-7.3 м,  $3220 \pm 150$  кал. л. н., МРІ-75), обилие углей в эоловых отложениях в верхних частях разрезов в долине р. Суолы (№ 180, № 174) и др. В дальнейшем происходит постепенное восстановление растительных сообществ после пожаров и затухание эоловых процессов.

Во время похолодания климата в интервале XIV-XIX вв. (Малый ледниковый период) имело место несколько очередных фаз активизации дюнообразования практически во всех изученных районах, о чем свидетельствуют стволы погребенных деревьев под современными дюнами.

### **5.3. Условия формирования покровных песчаных отложений по данным спорово-пыльцевого анализа**

#### **5.3.1. Общие черты спорово-пыльцевых комплексов покровных песчаных отложений**

На основе спорово-пыльцевого анализа 126 образцов из ППО периода МИС 5a – начало МИС 1 найдены следующие таксоны:

– **24 таксона травянистых и кустарничковых растений** (в порядке убывания в спорово-пыльцевых спектрах: Poaceae, *Artemisia*, Amaranthaceae, Caryophyllaceae, Cyperaceae, Brassicaceae, Cichorioideae, Rosaceae, Ranunculaceae, *Thalictrum*, *Sanguisorba officinalis*, Asteroideae, Ericales, Onagraceae, Polygonaceae, *Thymus*, Fabaceae, Apiaceae, Valerianaceae, Polemoniaceae, Campanulaceae, *Rubus chamaemorus*, *Nuphar*).

– **7 таксонов деревьев и кустарников** (в порядке убывания: *Betula* sect. *Nanae*, *Betula* spp., *Pinus* s/g. *Diploxylon*, *Pinus* s/g. *Haploxylon*, *Alnus*, *Salix*, *Larix*). Дочетвертичная пыльца *Tilia*, Pinaceae и Podocarpaceae.

– **6 таксонов спор** (в порядке убывания: *Selaginella rupestris*, Lycopodiaceae, *Sphagnum*, Polypodiophyta, Bryales, *Equisetum*). Дочетвертичные, преимущественно мезозойские споры.

– **Непыльцевые палиноморфы** (водоросли – *Botryococcus*, споры и остатки грибов – *Glomus*, *Gelasinospora*, *Microthyrium microscopicum*, остатки хирономид Chironomidae, раковинные амебы – *Arcella*, *Assulina* и угольки).

#### **5.3.2. Отражение биогенно-эоловой ритмичности разрезов в спорово-пыльцевых спектрах**

В отложениях ППО отмечается биогенно-эоловая ритмичность. Каждый ритм состоит из двух членов. Первый член представлен светло-желтыми песчаными отложениями мощностью от 0.1-0.2 до 12 м, редко на отдельных участках вблизи кровли отложений – от 1-3 до 10-15 см, накопление которых связано с интенсивными процессами сухого эолового осаждения и дефляции. Отложения иногда включают вертикально погребенные деревья и пневые горизонты, а также рассеянные вертикальные корешки трав, что свидетельствует о большой скорости аккумуляции. Формирование первого члена ритма происходило в суровых криоаридных условиях в ходе нарастания эоловой активности в интервалы наиболее интенсивной ветровой переработки исходных отложений и их аккумуляции в виде динамичных песчаных дюн различной морфологии.

Второй член ритма представлен темно-серыми супесчаными отложениями с тонкими прослоями органического детрита или дерново-суглинистыми слоями (эмбриональные палеопочвы) мощностью от первых миллиметров до 3-4 см. Его формирование происходило при изменении климатических условий в эпизоды потепления и роста количества атмосферных осадков, что сопровождалось снижением эоловой активности, частичным и/или временным закреплением

поверхности дюн пионерной растительностью с дальнейшим развитием небольших кочек (с типичными размерами от 4 до 15 см), первичной почвы и появлением единичных кустарников.

Биогенно-эоловая литологическая ритмичность разрезов ППО, таким образом характеризует периоды «активизации-аккумуляции» (первый член ритма) и «затухания-стабилизации» (второй член ритма) эоловой активности, которые неоднократно сменяли друг друга на протяжении от конца МИС 5 до начала МИС 1. Эта ритмичность отражается и в спорово-пыльцевых спектрах.

**Первая группа («активизации – аккумуляции»)** характеризуется наиболее низкой концентрацией пыльцы (0-133 зерен / г). Отмечаются единичные зерна *Artemisia*, *Amaranthaceae*, *Cyperaceae*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*, *Cichorioideae*, *Asteroideae*, *Brassicaceae*, *Rosaceae*, *Apiaceae*, *Thalictrum*, *Ranunculaceae*, *Ericales*, *Sanguisorba officinalis*, *Fabaceae*, *Pinus s/g Diploxylon*, *Alnus*, *Betula* spp и *Betula* sect. *Nanae*; единичное присутствие спор *Selaginella rupestris*, *Lycopodiaceae*, *Sphagnum*, *Polypodiophyta*, *Bryales*, дочетвертичная пыльца, представленная преимущественно *Pinaceae* и *Podocarpaceae*, мезозойские споры, угольки и *Glomus* (только в № 052-058).

**Вторая группа («затухания – стабилизации»)** характеризуется доминированием пыльцы травянистых растений (до 90.2 %), большей концентрацией спор и пыльцы (10-424 зерен /г), в некоторых пробах (№ 482\_6, № 052-058\_30 и № 075\_0.45) отмечаются очень высокие концентрации 2770, 4900 и 22900 зерен / г соответственно и в серии спектров разреза № 482 PZ I –6950 зерен / г; большим разнообразием таксонов и содержанием спор *Glomus* (до 43.5-75 %; от общего числа подсчетов – AP + NAP + Spore + NPP + дочетвертичные споры и пыльца) и угольков. В спектрах отмечаются все таксоны и НПП, которые перечислены в разделе 5.3.1.

### 5.3.3. Ландшафтно-климатические условия формирования покровных песчаных отложений

В формировании ППО Центральной Якутии можно выделить несколько этапов:

1 этап (МИС 5a – МИС 3, ~80-29 тыс. л. н.). По результатам проведенного исследования, накопление ППО можно отнести ко времени около 80 тыс. л. н. (см. раздел 5.2). Оно проходило на протяжении всей III<sub>2</sub> ступени неоплейстоцена и холодных климатических фаз III<sub>3</sub> ступени неоплейстоцена (45-43 тыс. л. н. и 33-30 тыс. л. н. по [Фотиев, 2006]), когда условия были очень холодные и сухие, вследствие чего происходила активизация эоловых процессов.

Почти полное отсутствие пыльцы и спор в ППО (разрез № 052-058, PZII; рис. 3, в интервале глубин 5-45 м) может быть косвенным признаком быстрой аккумуляции ППО. В этот период широко были распространены пространства лишённые растительности, на которых происходила интенсивная дефляция, сопряженные с участками погребенных деревьев, с единичными пятнами травянистых сообществ преимущественно из *Artemisia*, *Poaceae*, *Caryophyllaceae*. Спорово-пыльцевые спектры тонких (1-2 мм) темных прослоев, отмеченных в пачке отложений в интервале глубин 10.5-50 м, свидетельствуют о том, что в период с конца МИС 5 по МИС 3 отмечались относительно более теплые и влажные

периоды, в которые происходило затухание эоловых процессов и постепенное закрепление песчаных поверхностей растительными сообществами с последующим формированием эмбриональных почв. Закрепление дюнных массивов происходило преимущественно полынно- и злаково-разнотравной растительностью. Некоторые междюнные пространства были обводнены и представляли собой небольшие эфемерные озера (в пробах отмечена пыльца кубышки *Nuphar*, косточки рдестов *Potamogeton filiformis* Pers., *P. perfoliatus* L., *P. natans* L.), по окраинам зараставшие различными видами осок, вахтой, влаголюбивыми видами лютиковых и пр., с луговой и лугово-болотной растительностью; в междюнных понижениях вблизи водных артерий встречались ельники. Местами произрастали ивы и карликовые виды берез, а также отмечались небольшие заболоченные участки, где произрастала клюква мелкоплодная.

Дополнительным триггером локального опустынивания в МИС 5 – МИС 3, вероятно, являлись частые пожары, которые уничтожали большие площади древесных сообществ и способствовали активизации эоловых процессов (содержание большого количества углей от 11.4 до 40.8 % в спорово-пыльцевых спектрах разрезов № 052-058 в интервале 24-51 м, PZII, № 366, PZI, а также спор гриба *Gelasinospora* – индикатора пожаров [Prescott et al., 2014]).

2 этап (МИС 2 – начало МИС 1, ~29-11.7 тыс. л. н.). В этот период происходит еще большее нарастание континентальности, сокращение атмосферных осадков и иссушение климата [Гитерман, 1963; Томская, 1981]. О сухих и очень холодных климатических условиях МИС 2 – начало МИС 1 свидетельствует более широкое распространение ППО и преобладание в них фаций сухого эолового осаждения (см. разрезы № 366, тукулан Кысыл-Сыр; № 537, Песчаная гора; № 047, тукулан Махатта; № 180, долина р. Суола, а также разрез Усть-Буотамский [Галанин и др., 2021; Vasil'eva et al., 2024]). Рыхлое сложение и высокая пористость указывают на воздушное осаждение частиц, крайне низкая льдистость и практически полное отсутствие растительных остатков – на климатические условия холодной пустыни [Галанин и др., 2015].

Во втором этапе выделяется несколько подэтапов:

1) *Поздний глобальный ледниковый максимум (LGM) и поздний пленигляциал* (26-15 тыс. л. н., включая LGM, ~26 – ~19 тыс. л. н., по [Cohen, Gibbard, 2019]), на который приходится пик максимального опустынивания. В ППО этого времени пыльца и споры почти отсутствуют (разрезы: № 366, палинозона PZII; № 075; № 047, PZI; № 180, PZI). Это свидетельствует о том, что на протяжении термического минимума позднего неоплейстоцена происходило практически полное исчезновение древесной растительности и изреживание растительности холодных степей; доминировали открытые песчаные незакрепленные пространства, и возможно, были развиты каменистые полупустыни [Павлова и др., 2017].

Как на первом этапе, так и на втором этапе, в течение которого отмечался термический минимум позднего неоплейстоцена, выделялись небольшие периоды смягчения климатических условий, о чем свидетельствуют тонкие (0.2-3 (4) см) прослой эмбриональных почв, отмеченные в разрезах № 366, № 075, № 047, № 180. Дюнные пространства закреплялись сначала пионерной растительностью, а затем преимущественно ксерофитными сообществами (*Artemisia*, *Amaranthaceae*, *Caryophyllaceae*, *Brassicaceae*), злаковыми, в более увлажненных участках –

осоковыми. Концентрации пыльцы очень низкие (9-241 зерен /г), что говорит о низкой продуктивности.

Карпоботанические комплексы ППО отличаются бедностью видового состава (установлено около 10 таксонов из разреза № 366) и практически не содержат остатков лесообразующих пород. Предполагается, что такие особенности захоронения связаны с высокой степенью изреженности и угнетенности растительности в криоаридных условиях [Михаревич и др., 2024]. Согласно палеоботаническим данным, площади открытых песков увеличивались, но в дефляционных понижениях продолжали развиваться озера, о чем свидетельствует наличие в пробах *Potamogeton filiformis* Pers., *Hippuris vulgaris* L. и др. По берегам дефляционных озер развивались осоковые, вахтовые, возможно, луговые сообщества, на удалении от озер росли кустарниковые виды берез. Были также распространены участки остепненных березовых колков, зарослей ерника из кустарниковых видов берез и отдельно стоящих лиственниц.

К концу пленигляциала (около 17-15 тыс. л. н.) дефляция сменилась интенсивной эоловой аккумуляцией, в результате чего в пределах кердёмской и бестяхской террас р. Лены сформировалась песчаная дюнная пустыня с островками тундрово-степной растительности [Галанин, 2021].

2) *Потепление бёллинг-аллерёд (GI-1)*. В межстадиальную часть позднеледниковья (14.7-12.8 тыс. л. н.) в условиях смягчения климата происходит затухание эоловой активности и закрепление ППО травянисто-кустарничковыми ксерофитными группировками и островками древесной растительности (спорово-пыльцевые спектры в разрезе № 482, PZI).

3) *Похолодание позднего дриаса (GS-1)*. В период 12.8-11.7 тыс. л. н. произошло резкое похолодание и опустынивание, сопровождавшееся распространением дюнных массивов в пределах кердёмской и бестяхской террас р. Лены, в долине р. Вилюй и ее притоков. Согласно спорово-пыльцевым данным (например, разрез № 482, PZII) в этот период также преобладали ландшафты открытого типа, холодных степей с преобладанием ксерофитных сообществ, разнотравно-злаковых лугов, незакрепленные песчаные пространства, на поверхностях которых очень разряжено произрастали преимущественно злаки и ксерофиты, местами ерники из кустарниковых видов берез, ольховника и ивы, присутствовали остепненные участки лиственничных лесов. Локально, в местах близкого подступа грунтовых вод к дневной поверхности, отмечались заболоченные участки с морошкой и *Ericales*, поросшие сфагновым мхом. О холодных условиях свидетельствует наличие во всех пробах спор плаунка *Selaginella rupestris*. Также, возможно, случались пожары (о чем говорит наличие угольков и спор *Gelasinospora*), что способствовало дефляции.

К началу голоцена не менее 40 % территории Центральной Якутии было покрыто дюнными массивами и песчаными покровами, практически лишенными растительности [Галанин, Павлова, 2019]. В более увлажненных котловинах выдувания были развиты степные сообщества.

3 этап – голоцен. Резкое потепление климата, произошедшее около 11.7 тыс. л. н., сопровождалось ростом количества атмосферных осадков, что, возможно, привело к увеличению обводненности и речного стока, затуханию эоловой активности, активизации роста растительности и ее распространению на песчаных

пространствах. Активная эоловая аккумуляция прекратилась не сразу, ее признаки отмечаются вплоть до ~9.5 тыс. л. н. (рис. 7), что связано со сложностью освоения растительностью эдафически бедных подвижных песчаных грунтов. К началу климатического оптимума голоцена (около 9 тыс. л. н.) многие дефляционные и эолово-подпрудные озера превратились в болота, где шло обильное накопление торфа (например, разрезы № 449, обнажение Кысыл-Сыр; № 537, обнажение Песчаная гора; № 174, долина р. Суолы).

В интервале 9-7 тыс. л. н. на фоне увеличивающегося количества осадков и повышения температур дюнные массивы Центральной Якутии полностью закрепляются растительностью. В числе прочего об этом свидетельствует исчезновение из спорово-пыльцевых спектров спор гриба *Glomus* – яркого индикатора незакрепленных почв.

В интервале 7-4.5 тыс. л. н. большая часть ППО в Центральной Якутии была закреплена развитым почвенно-растительным покровом, последней сукцессионной стадией которого стали сосново-толокнянково-брусничные леса [Галанин, Павлова, 2019]. Климат данного периода был более мягким и влажным, чем современный, наибольшей активности достигли процессы термоэрозии и термокарста в пределах лессово-ледовых равнин и плато, сложенных льдистыми отложениями ледового комплекса.

Около 4.5 тыс. л. н., и особенно после 2.5 тыс. л. н., в регионе начинается похолодание и аридизация климата [Фотиев, 2006; Галанин, Павлова, 2019], а также активизация пожаров. Факт интенсивных площадных пожаров подтверждается протяженными горизонтами обожженной палеопочвы с множеством углей, подстилающими пачки современных дюнных отложений исследованных тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр (разрезы № 366, № 088, № 071). Даты по обожженной древесине в Кысыл-Сырском обнажении – 4890±160, 5050±140 кал. л. н. (MPI-13, MPI-47), в Усть-Буотамском обнажении – 5500±270 кал. л. н. (MPI-174) [Васильева и др., 2024]. В палиноспектрах обнаружены споры гриба *Gelasinospora* – индикатора пожаров [Prescott et al., 2014] и в большом количестве микроугольки. В совокупности данные факторы привели к активизации эоловых процессов и очередной фазе дюнообразования (~3.5-1.5 тыс. л.н.). В дальнейшем происходит постепенное восстановление растительных сообществ после пожаров – увеличивается доля березы, которая затем вытеснялась хвойными деревьями (разрезы №174, PZIII; № 180, PZO).

Во время Малого ледникового периода (XIV-XIX вв.) эоловые процессы в Центральной Якутии вновь активизировались. Даты погребенных почвенных горизонтов и деревьев свидетельствуют о том, что возраст современных активных дюн Центральной Якутии не превышает 200-600 лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основываясь на результатах проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Покровные песчаные отложения (ППО) магистральных речных долин Центральной Якутии имеют эоловое происхождение, о чем свидетельствует следующий набор основных признаков:



- покровное (плащеобразное) залегание и одновременное формирование (наличие отложений одинакового возраста) на разных гипсометрических уровнях;
- наличие в строении: поверхностей погребенного рельефа, нескольких порядков слоистости (сезонная слоистость, микродефляционные несогласия, перекрестно-слоистые макроструктуры, прослойки эмбриональных почв), седиментационных структур, формирующихся при эоловом осаждении на сухую и влажную поверхности, эпигенетических песчаных клиньев, жил и трещин;
- в составе отложений преобладают светлые с охристым оттенком кварцево-полевошпатовые мелко- и среднезернистые пески умеренной сортировки с низким содержанием слюды и тяжелой фракции, с постоянным присутствием гидроокислов железа (III), формирующих ярко-оранжевую или красноватую эпигенетическую полосчатость;
- характерна низкая льдистость (<5 %) и отсутствие полигонально-жильных льдов и преобладание сублимационных льдов (контактная, тонкошлифовая, комковатая льдистость).

2. Формирование ППО Центральной Якутии началось не позднее 80 тыс. л. н., их накопление шло неравномерно, максимальная аккумуляция отложений припала на интервал ~23-15 тыс. л. н.

3. Спорово-пыльцевые комплексы ППО периода МИС 5а – начало МИС 1, как и ППО позднего голоцена, характеризуются низким таксономическим разнообразием: 31 таксон высших растений и 6 таксонов спор. В них преобладает пыльца трав и кустарничков с доминированием Poaceae, *Artemisia*, *Amaranthaceae*, *Caryophyllaceae* и *Superaceae*, а также *Betula* sect. *Nanae*, в отличие от спорово-пыльцевых комплексов ППО позднего голоцена, где преобладает пыльца деревьев (до 95%) с доминированием *Pinus* s/g. *Diploxylon*; остальные таксоны присутствуют в небольшом количестве или единично. В спектрах отмечается в большом количестве мезозойская пыльца Pinaceae и Podocarpaceae, дочетвертичные споры.

4. Выделены две группы спорово-пыльцевых спектров ППО, которые соотносятся с литологической ритмичностью, отражающей чередование фаз «активизации – аккумуляции» и «затухания – стабилизации» эоловых процессов и накопления покровных песчаных отложений, сменявшие друг друга от конца МИС 5 до начала МИС 1, что указывает на цикличность климатических условий.

5. На основе результатов комплексных исследований установлены условия формирования ППО в магистральных речных долинах Центральной Якутии и выделены этапы их формирования в интервале последних 80 тыс. лет:

1 этап – ~80-29 тыс. л. н. (МИС 5а – МИС 3). Очень холодные и сухие условия. Локальное формирование покровных песчаных отложений проходило на протяжении всей III<sub>2</sub> ступени неоплейстоцена и холодных климатических фаз III<sub>3</sub> ступени неоплейстоцена. В пределах песчаных массивов преобладал разреженный растительный покров с ксерофитными сообществами.

2 этап – ~29-11.7 тыс. л. н. (МИС 2 – начало МИС 1). Нарастание континентальности, сокращение атмосферных осадков, сильное иссушение климата. Отмечалось несколько подэтапов:

2.1. ~29-26 тыс. л. н. – относительно низкая активность эоловых процессов.

2.2. ~26-14.7 тыс. л. н. (последний глобальный ледниковый максимум, на который пришелся пик максимального опустынивания, и поздний пленигляциал) –

увеличение интенсивности эолового рельефообразования и сильное возрастание масштабов аккумуляции ППО, которые достигли максимума ~23-15 тыс. л. н. Практически полное исчезновение древесной растительности, изреживание растительности холодных степей. Доминировали открытые песчаные пространства с редкими травянистыми, преимущественно ксерофитными сообществами, с островками тундрово-степной растительности и каменистые полупустыни.

2.3. 14.7-12.8 тыс. л. н. (потепление бёллинг-аллерёд) – постепенное затухание эоловой активности и закрепление дюнных массивов травянисто-кустарничковым покровом.

2.4. 12.8-11.7 тыс. л. н. (похолодание позднего дриаса) – масштабное опустынивание, активизация эоловых процессов, преобладание разреженного растительного покрова с ксерофитными сообществами.

3 этап – голоцен. Резкое потепление климата, сопровождавшееся ростом количества атмосферных осадков.

3.1. 11.7-9.5 тыс. л. н. (начало – середина раннего голоцена) – активная эоловая аккумуляция с постепенным затуханием, связанная с медленным и постепенным освоением растительностью эдафически бедных подвижных песчаных грунтов.

3.2. ~9.5-4.5 тыс. л. н. (середина раннего голоцена – конец среднего голоцена) – практически полное затухание эоловой активности, локальная дефляция и эоловая аккумуляция, закрепление ППО растительностью. 7-4.5 тыс. л. н. – большая часть ППО закреплена развитым почвенно-растительным покровом.

3.3. ~4.5-1.5 тыс. л. н. (конец среднего голоцена – поздний голоцен). Интенсивные пожары, начавшиеся в конце среднего голоцена, дальнейшее похолодание и аридизация климата после 2.5 тыс. л. н. способствовали активизации дюнообразования в интервале ~3.5-1.5 тыс. л. н.

3.4. ~1.5-0.8 тыс. л. н. происходит постепенное затухание эоловых процессов и восстановление растительных сообществ после пожаров – увеличивается доля березы, которая затем вытесняется хвойными деревьями.

3.5. В XIV-XIX вв. (Малый ледниковый период) – несколько фаз активизации дюнообразования, в ходе которых сформировались современные дюнные массивы.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Работы, опубликованные в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК**

1. **Павлова М.Р.**, Рудая Н.А., Галанин А.А., Шапошников Г.И. Строение и динамика развития дюнных массивов Вилюйского бассейна в позднечетвертичное время (на примере тукуланов Махатта и Кысыл-Сыр) // Сибирский экологический журнал. – 2017. – Т. 24. – № 4. – С. 473–486.

2. **Павлова М.Р.**, Галанин А.А., Лыткин В.М., Торговкин Н.В. Строение и условия формирования ледового комплекса в долине нижнего течения р. Вилюй, Центральная Якутия // Криосфера Земли. – 2024. – Т. XXVIII. – № 6. – С. 3–19.

3. Галанин А.А., **Павлова М.Р.**, Шапошников Г.И., Лыткин В.М. Тукуланы: песчаные пустыни Якутии // Природа. – 2016. – № 11. – С. 44–55.

4. Галанин А.А., Павлова М.Р., Климова И.В. Позднечетвертичные дюнные образования (Дьолкуминская свита) Центральной Якутии (Часть 1) // Криосфера Земли. – 2018. – Т. XXII. – № 1. – С. 3–15.

5. Галанин А.А., Павлова М.Р. Позднечетвертичные дюнные образования (Дьолкуминская свита) Центральной Якутии (Часть 2) // Криосфера Земли. – 2019. – Т. XXIII. – № 1. – С. 3–16.

#### Публикации в других научных журналах

1. Павлова М.Р., Галанин А.А., Рудая Н.А. Палинологические и радиоуглеродные данные о верхнечетвертичных отложениях дюнного массива – тукулан Кысыл-Сырский (Центральная Якутия) // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2016. – №1 (13). – С. 100–107.

2. Галанин А.А., Павлова М.Р., Дьячковский А.П., Павлов Б.А. Феномен тукуланов Центральной Якутии: плейстоценовая криопустыня // Наука и техника в Якутии. – 2015. – № 2 (29). – С. 23–31.

3. Шапошников Г.И., Галанин А.А., Лыткин В.М., Павлова М.Р. Абсолютные датировки радиоуглеродной лаборатории ИМЗ СО РАН с 2015 по 2017 гг. // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2019. – Т. 24. – № 3. – С. 39–49.

4. Pavlova M.R., Lytkin V.M., Shaposhnikov G.I. Paleoecology of peatland in the vicinity of the dune massif – Linde tukulan (Central Yakutia) // Limnology and Freshwater Biology. – 2024. – № 4. – P. 516–521.

#### Основные публикации в материалах конференций

1. Павлова М.Р. Возраст и биостратиграфические особенности обнажения Песчаная гора, долина среднего течения р. Лена (Центральная Якутия) // Материалы XIV международной научно-практической конференции «Геология в развивающемся мире». – Пермь: 2021. – С. 182–185.

2. Павлова М.Р. Литолого-фациальная характеристика отложений 65-метровой цокольной террасы реки Вилюй (Центральная Якутия) // Материалы XI международной научно-практической конференции «Геология в развивающемся мире». – Пермь: 2018. – Т. 2. – С. 280–283.

3. Павлова М.Р. Палинологическая характеристика дьолкуминской свиты (верхний плейстоцен) долины нижнего течения р. Вилюй (Центральная Якутия) // Материалы XXIV Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – С. 38–39.

4. Павлова М.Р., Галанин А.А. Динамика природной среды в позднем плейстоцене и голоцене долины реки Суола (Приленское плато, Центральная Якутия) по палеоботаническим данным // Материалы V всероссийской научной конференции с международным участием «Динамика экосистем в голоцене». – М.: Медиа-Пресс, 2019. – С. 249–251.

5. Павлова М.Р., Галанин А.А. Эоловые ландшафты Центральной Якутии: основные этапы развития в позднем плейстоцене и голоцене // Материалы II всероссийской научной конференции «Пути эволюционной географии». – М.: Институт географии РАН, 2021. – С. 279–284.

6. Павлова М.Р., Галанин А.А. Особенности строения и палинологическая характеристика позднечетвертичных отложений третьей надпойменной террасы р. Лена (на примере Харыялахского обнажения),

Центральная Якутия //Материалы XV всероссийской палинологической конференции. – Москва: 2022. – С. 262–267.

7. **Павлова М.Р.**, Галанин А.А., Галанина И.А. Почвенно-растительный покров эоловых ландшафтов Вилюйского бассейна (Центральная Якутия) // Материалы XIX Международной конференции «Региональные аспекты природной среды и общества». – Иркутск: Издательство Института географии им. Б.И. Сочавы СО РАН, 2017. – С. 38–41.

8. **Павлова М.Р.**, Галанин А.А., Павлов Б.А. Геоморфологические особенности тукуланов долины нижнего течения р. Вилюй // Материалы всероссийской конференции VII Щукинские чтения «Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике». – М.: МАКС Пресс, 2015. – С. 482–484.

9. **Павлова М.Р.**, Галанин А.А., Шапошников Г.И., Климова И.В. Литолого-минералогическая и спорово-пыльцевая характеристика отложений дюнного массива – тукулан Махатта (Центральная Якутия) // Материалы VIII всероссийской научно-практической конференции «Геология и минерально-сырьевые ресурсы северо-востока России». – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2018. – Т.2. – С. 253–256.

10. **Павлова М.Р.**, Лыткин В.М., Шапошников Г.И., Васильева А.Н. Возраст и условия формирования Высоких террас в долине р. Вилюй // Материалы всероссийской конференции «Каспий в плейстоцене и голоцене: эволюция природной среды и человек». – М.: Издательство «Перо», 2023. – С. 144–147.

11. **Павлова М.Р.**, Шапошников Г.И. Особенности строения и генезиса четвертой надпойменной террасы реки Лена (на примере Усть-Буотамского обнажения), Центральная Якутия // Материалы XV международной научно-практической конференции «Геология в развивающемся мире». – Пермь: 2022. – С. 112–115.