

*На правах рукописи*



**ВОЛЬВАХ Николай Евгеньевич**

**ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ГЕОХРОНОЛОГИЯ  
ЛЁССОВО-ПОЧВЕННОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНА  
ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ  
РАВНИНЫ**

1.6.2 - палеонтология и стратиграфия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Новосибирск – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук.

**Научный руководитель:**

**ЗЫКИН Владимир Сергеевич**

доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

**Официальные оппоненты:**

**ТЕСАКОВ Алексей Сергеевич**

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории стратиграфии четвертичного периода Геологического института Российской академии наук (г. Москва)

**РЫЖОВ Юрий Викторович**

доктор географических наук, заведующий лабораторией геологии мезозоя и кайнозоя Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (г. Иркутск)

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск)

**Защита состоится 11 октября 2022 г. в 14.00 часов** на заседании диссертационного совета 24.1.087.01 (Д 003.068.01) по специальности 1.6.2. (25.00.02) «палеонтология и стратиграфия» в ФГБУ «Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения Российской академии наук» (ИНГГ СО РАН) по адресу: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, 3.  
Тел.: +7(383) 333-29-00, E-mail: ObutOT@ipgg.sbras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИНГГ СО РАН: <http://www.ipgg.sbras.ru/dissertations/volvah2022/dis-Volvakh.pdf>

Автореферат разослан 30 августа 2022 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.г.-м.н.



Обут О.Т.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность исследования.**

Лёссово-почвенная последовательность является важным архивом континентальных отложений, в котором наиболее детально отражены глобальные и региональные изменения палеоклимата и палеосреды. Изучению лёссово-почвенных отложений юго-востока Западной Сибири посвящено множество работ (Chlachula, Little, 2011; Kravchinsky et al., 2008; Sizikova, Zykina, 2015, 2014; Zykin, Zykina, 2015; Zykina et al., 2022; Архипов, 1965; Волков, 1973, 1971; Волков, Зыкина, 1977; Зыкина и др., 1981; Зыкина, Зыкин, 2012; Матасова и др., 2004, 2003; Москвитин, 1940; Нагорский, 1941; Никитенко, 1963; Панычев, 1979; Православлев, 1933; Сизикова, Зыкина, 2014, 2013; Фирсов, Орлова, 1971; Шаевич, 1975 и др.). На данный момент для лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири разработана стратиграфическая схема, которая была сопоставлена с основными глобальными климатическими записями: с морскими стадиями изотопной кислородной шкалы (Bassinot et al., 1994), с записью озера Байкал (Карабанов et al., 2001), антарктическими ледниковыми кернами станции Восток (Petit et al., 1999), а также лёссово-почвенными сериями Китая, Средней Азии, Украины, Русской равнины, Средней Сибири (Зыкина, Зыкин, 2012). Стратиграфическое расчленение лёссово-почвенных отложений юго-востока Западной Сибири и восстановление условий палеосреды во время их формирования проводились на комплексных исследованиях, включавших палеопедологический, радиоуглеродный, литологический, геоморфологический, микротериологический и палеомагнитный методы. Для оценки отложений древнее 30 тысяч лет использовалась корреляция маркеров – педокомплексов лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири с аналогичными горизонтами лёссово-почвенной последовательности Средней Сибири (Зыкина, Зыкин, 2012), геохронологическая характеристика которой базируется на детально продатированном люминесцентным методом разрезе Куртак (Frechen et al., 2005; Zander et al., 2003). Однако для лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири геохронологические данные пребывают в большом недостатке. Это влечет за собой большую неопределенность во времени формирования основных стратиграфических единиц и ставит под сомнение корреляцию имеющихся данных с другими архивами климатических изменений.

**Целью** работы является улучшение хронологических знаний о формировании лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири путем получения большого количества данных люминесцентного датирования.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

1. Описать ключевые разрезы лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири и отобрать образцы для люминесцентного датирования;
2. Получить данные люминесцентного датирования основных стратиграфических подразделений исследуемых разрезов;
3. Провести корреляцию разрезов на основе результатов люминесцентного датирования;
4. Установить люминесцентную хронологию лёссово-почвенной последовательности и сопоставить установленную хронологию лёссово-почвенной последовательности с подразделениями стратиграфической схемы лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири и глобальной записью изменения климата – морской изотопной шкалой.

**Объектом исследования** являются лёссово-почвенные отложения второй половины среднего и верхнего неоплейстоцена юго-востока Западной Сибири.

**Предмет исследования** - стратиграфия лёссово-почвенных отложений неоплейстоцена юго-востока Западной Сибири.

#### **Фактический материал и методы исследования**

В основу работы положен материал, собранный в течение экспедиционных работ 2018-2019 гг. на разрезах лёссово-почвенных отложений юго-востока Западной Сибири. Для определения времени формирования исследуемых отложений использовался метод люминесцентного датирования. Датирование проведено 98 образцам - 38 образцам из разреза Ложок, 20 образцам из разреза Солоновка, 25 образцам из разреза Белово, 6 образцам из разреза Красногорское и 9 образцам из разреза Ключи по фракциям кварца и полевого шпата. Пробоподготовка выполнена в Лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата ИГМ СО РАН. Измерения эквивалентной дозы и мощности дозы проведены в Северной люминесцентной лаборатории Орхусского университета Дании (Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Aarhus University, DTU Risø Campus, Roskilde, Den-mark).

Лично автором в течение пяти полевых сезонов (2015-2019 гг.) в составе экспедиционных отрядов проводились исследования разрезов лёссово-почвенных отложений юго-восточной части Западно-Сибирской равнины. В рамках представленной работы были вскрыты и изучены пять ключевых разрезов, где были лично автором отобраны образцы для проведения люминесцентного датирования. В рамках

камеральной работы автором была проведена полная пробоподготовка образцов, которые в дальнейшем были отправлены на проведение измерений в Северную люминесцентную лабораторию Орхусского университета Дании. Полученные результаты измерений были проанализированы и интерпретированы также автором.

#### **Научная новизна:**

1. Впервые для разрезов отложений лёссово-почвенных последовательностей юго-востока Западной Сибири было проведено детальное люминесцентное датирование;

2. Данные датирования показывают несоответствие хронологической последовательности, основанной на люминесцентном датировании, с опубликованными ранее стратиграфическими расчленениями лёссово-почвенных горизонтов исследуемых разрезов, а также позволили установить длительность известных стратиграфических перерывов и обнаружить ранее скрытые;

3. На основе результатов люминесцентного датирования был составлен сводный разрез лёссово-почвенных отложений второй половины среднего и позднего неоплейстоцена и проведена корреляция с имеющейся стратиграфической схемой лёссово-почвенных отложений юго-востока Западной Сибири и стадиями изотопной кислородной шкалы.

#### **Основные защищаемые положения:**

1. Данные люминесцентного датирования не в полной мере соответствуют ранее установленному стратиграфическому расчленению исследованных разрезов. В разрезах лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири присутствуют скрытые стратиграфические перерывы, которые не имеют литологической выраженности;

2. Датирование нижней бердской почвы в разрезах у пос. Красногорское, Белово, Солоновка показало, что хронологический диапазон ее формирования отчетливо соответствует последнему межледниковью и морской изотопной стадии МИС 5e и позволяет отчетливо проводить границу верхнего и среднего неоплейстоцена в лёссово-почвенной последовательности Западной Сибири;

3. Установленное время формирования эпох лёссаобразования и почвообразования юго-востока Западной Сибирской равнины, полученное по результатам люминесцентного датирования, хорошо соотносится с холодными и теплыми стадиями морской изотопной шкалы.

**Теоретическая и практическая значимость.** Полученные данные дополняют и уточняют имеющуюся информацию о времени формирования лёссово-почвенных горизонтов второй половины среднего и позднего неоплейстоцена юго-востока Западной Сибири. Результаты

исследования могут быть использованы при изучении палеогеографических и палеоклиматических условий региона, геологическом картировании и уточнении региональной стратиграфической схемы лёссово-почвенных отложений.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Результаты исследований докладывались на 7 научных конференциях: International conference «Diversity of loess: properties, stratigraphy, origin, regional features» (Volgo-grad, 2018); IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле. (Новосибирск, 2018); International conference «UK Luminescence, ESR Dating Meeting» (Roskilde, Denmark, 2019); 20th Congress of the International Union for Quaternary Research (INQUA) (Dublin, Ireland, 2019); Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена «Марковские чтения 2020 года» (Москва, 2020); XI Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода «Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований» (Москва, 2020); 16th International Luminescence, Electron Spin Resonance Dating Conference (2021). Опубликовано 16 работ, в том числе 6 статей в журналах, включенных в перечень ВАК, глава в монографии и 9 публикаций в сборниках материалов Международных и Всероссийских научных и научно-практических конференций.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и одного приложения. Общий объем работы – 150 страниц, включая 11 таблиц и 30 рисунков. Список литературы содержит 188 наименований.

Работа выполнена в лаборатории геологии кайнозоя, палеоклиматологии и минералогических индикаторов климата Института Геологии и Минералогии СО РАН им. В.С. Соболева (ИГМ СО РАН), под руководством ведущего научного сотрудника, д. г.-м. н., профессора Зыкина Владимира Сергеевича.

Исследования, проводимые автором, поддержаны «Российским фондом фундаментальных исследований» (проекты № 18-45-543007, № 19-35-90040, № 19-05-00513, № 20-05-00801).

**Благодарности.** Автор выражает благодарность научному руководителю В.С. Зыкину за общее руководство и организацию работы; Р. Н. Курбанову - научному консультанту по вопросам люминесцентной хронологии, а также его исследовательскому коллективу за организацию и проведение люминесцентного датирования; В.С. Зыкиной за проведение экспедиционных работ и консультации по стратиграфии и палеопедологии.

В полевых исследованиях совместно с автором принимали участие

В.С. Зыкин, В.С. Зыкина, А.О. Вольвах, Р.Н. Курбанов, Д.Г. Маликов, С.Е. Голованов, Е.Л. Маликова, Л.Г. Смолянинова, И.Ю. Овчинников, С.Н. Щеглова, С.Б. Маркович (S.B. Marković), М.Б. Гаврилов (M.B. Gavrilov). Полезно было обсуждение проблем исследований с В.С. Зыкиным, В.С. Зыкиной, А.О. Вольвах, Р.Н. Курбановым, Д.Г. Маликовым, И.Д. Зольниковым, А.В. Паниным, Т. Стивенсом (T. Stevens), Я.-П. Булардом (J.P. Buylaert), А.С. Мюррейем (A.S. Murray), С.Б. Марковичем (S.B. Marković), М.Б. Гавриловым (M.B. Gavrilov), М. Фрехеном (M. Frechen). Автор признателен И.Ю. Овчинникову за содействие в получении радиоуглеродных датировок.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность, сформулирована цель и задачи исследования, научная новизна, теоритическая и практическая значимость, степень достоверности и апробация результатов работы.

### **Глава 1. Лёссово-почвенная последовательность юго-востока Западной Сибири**

В первой половине главы рассматриваются вопросы определения лёссовых отложений и построения стратиграфии на основе лёссово-почвенных последовательностей. Рассматривается становление современной лёссово-почвенной стратиграфии юго-востока Западной Сибири, и особое внимание уделено стратиграфии второй половины среднего и верхнего неоплейстоцена.

До недавнего времени, в отсутствие значительного количества геохронологических данных древнее предела радиоуглеродного метода датирования, в основе стратиграфического расчленения лёссово-почвенных формаций лежал метод корреляции палеоклиматических индикаторов с различными климатическими архивами, имеющими собственную возрастную модель, например, с кернами глубоководных морских и озерных отложений (Elderfield et al., 2012; Hodel et al., 2008; Lisiecki, Raymo, 2005; Prokopenko et al., 2001) и ледяными кернами Гренландии (Andersen et al., 2004; Rasmussen et al., 2014; Rousseau et al., 2007) и Антарктиды (Jouzel et al., 2007). Такие корреляции строились также и для лёссово-почвенных отложений территории юго-востока Западной Сибири.

Во второй половине главы рассмотрены палеонтологическая характеристика района исследования и современное состояние геохронологической изученности исследуемых отложений. Данные по микротерииофауне позволяют проводить стратиграфическое расчленение лёссово-почвенных отложений до уровня звена ОСШ. Однако, получение

таких данных является очень трудоемким, не позволяет уточнить возраст формирования отложений и скорее служит для уточнения палеоландшафтных условий. Современная геохронологическая изученность не позволяет в полной мере определить время и длительность формирования отдельных стратиграфических единиц лёссово-почвенной последовательности древнее предела радиоуглеродного метода датирования.

На основании анализа литературных данных делается вывод о том, что использование индикаторов палеоклимата и биостратиграфические данные позволяют в полной мере проводить расчленение отложений лёссово-почвенной формации региона, однако установление времени и длительности формирования, проведение межрегиональных и глобальных корреляций без получения геохронологических данных крайне затруднено.

## **Глава 2. Физико-географическое строение региона и исследуемые разрезы**

Район исследования расположен на юго-востоке Западной Сибири. От южной границы Барабинской низменности вплоть до предгорий Алтая, в пределах 51°-55° северной широты и 80°-85° восточной долготы, находится территория верхнего Приобья – основной зоны распространения лёссовых отложений юго-востока Западной Сибири.

Рельеф верхнего Приобья обуславливается эрозивно-аккумулятивной деятельностью современных водотоков и четвертичных прарек, процессами субэразального накопления отложений, а также, в некоторой степени, эндогенными процессами. Лёссовые отложения верхнего Приобья залегают покровом на всех водораздельных областях и высоких (начиная со второй) террасах крупных водотоков.

В геологическом плане территория верхнего Приобья является частью крупной отрицательной структуры первого порядка – Западно-Сибирской платформы. На юго-востоке Западно-Сибирской платформы с начала олигоцена при формировании внутриконтинентального горного пояса образовалась предгорная зона опускания – Предалтайская неотектоническая предгорная впадина (Адаменко, 1974). Она подразделяется на морфоструктуры второго порядка, имеющие специфические характеристики рельефа, геологическое строение и тектонический режим. К положительным структурам второго порядка относятся Предалтайская предгорная возвышенная равнина, Предсалаирская предгорная возвышенная равнина, Обь-Чумышское и Приобское плато, к отрицательным – Кулундинская низменность и долина Оби (Адаменко, 1974). В геоморфологическом плане исследователи не

имеют какого-то общего мнения и по-разному проводят расчленение данной территории, с выделением регионов различного масштаба. В данной работе принято разделение верхнего Приобья на шесть основных элементов – Кулундинская низменная равнина, Приобское плато, Предалтайская и Предсалаирская предгорные равнины, Обь-Чумышское плато и долина р. Обь с её крупными притоками (Адаменко, 1974; Черноусов и др., 1988).

Климат является важнейшим параметром формирования лёссовых отложений, во многом определяя количество вносимого и выносимого обломочного материала. Климат верхнего Приобья умеренно-континентальный с довольно высокими годовыми и суточными колебаниями температур, умеренными ветрами, пониженной влажностью воздуха, что связано с удаленностью рассматриваемой территории от океанических воздушных масс. Вывод материала из дренажного бассейна напрямую контролируется количеством годовых осадков, вегетативным укреплением почвенного покрова и развитием речной сети. Так, в аридных зонах вывод осадка небольшой, поскольку скорость выветривания низкая, а поверхностный сток незначительный.

Водные ресурсы исследуемого района представлены речной системой Оби, бессточным бассейном Обь-Иртышского междуречья и озерами Кулундинской низменной равнины. Обь протекает от места слияния Бии и Катунь на север в сторону Северного Ледовитого океана, имеет ряд крупных притоков – Алей, Ануй, Барнаулка, Касмала и Чарыш на левобережье и Чумыш, Бердь и Иня на правом берегу. В большом количестве присутствуют притоки второго и большего порядков. Выше г. Новосибирска по Оби расположено Новосибирское водохранилище. Для рек верхнего Приобья характерны небольшие уклоны и низкая скорость течения. Многие малые степные реки зимой перемерзают до дна, а летом полностью пересыхают, обнажая отложения подверженные дефляции (Геокриологические..., 1964), что позволяет увеличить расчленение рельефа и предоставляет новый материал для формирования лёссовых отложений.

Рельеф и климатические показатели Верхнего Приобья обуславливают современные ландшафты исследуемой территории. Пространственная изменчивость ландшафтов верхнего Приобья в равной степени зависит как от расчлененности рельефа, так и от различия в количестве тепла и влаги разных регионов. Так, основной закономерностью в их смене является переход от степной зоны на юге к лесостепи южного и северного типа на севере (Зыкина, Зыкин, 2012). Также растительный состав меняется в связи с увеличением количества влаги в понижениях рельефа и речных долинах, и с разностью количества

инсоляции на склонах разной экспозиции.

С момента формирования современных естественных географических границ верхнего Приобья на данной территории образовалась своеобразная геологическая обстановка, позволяющая производить материал и накапливать его в виде покровных лессовых отложений. Территория верхнего Приобья идеальна для образования мощных лёссовых толщ. С одной стороны, атмосферная пыль несется западными воздушными потоками с территории пустынь и полупустынь Казахстана, и Средней Азии, с территории Кулундинской и Барабинской низменности и оседает в ветровой тени гор. С другой, ледники Алтая производят достаточно материала, а основные алтайские водные артерии умножают и выносят его. Также, немаловажную роль может играть влияние Сибирского антициклона, несущего материал с севера на юг в течение холодного периода.

Все исследуемые разрезы расположены в привершинной части увалов. **Разрез Ложок** (N54°34'02.3369" E83°18'33.1670", 170 м) расположен на склоне увала, в бывшем, ныне задернованном карьере на междуречье рр. Шипуниха и Койниха, являющихся притоками Берди, впадающей в Обь. Разрез Ложок длительное время считается стратотипическим разрезом верхненеоплейстоценовой лессово-почвенной последовательности Новосибирского Приобья (Sizikova, Zykina, 2015; Zykin, Zykina, 2015; Волков, 1971; Зыкина и др., 1981; Зыкина, зыкин, 2012, и др.). Детальное послойное описание разреза было неоднократно опубликовано ранее в ряде работ (Sizikova, Zykina, 2015; Zykin, Zykina, 2015; Вольвах и др., 2021; Зыкина и др., 1981; Сизикова, Зыкина, 2013 и др.). Согласно этим описаниям в разрезе Ложок сверху вниз выделяются перемежающиеся три лёссовых горизонта и два педокомплекса (рис. 1). В верхней половине разреза, над верхней палеопочвой выделена явная эрозионная граница.

**Разрез Солоновка** (N 52°01.3406' E 084°39.3890', 235 м) находится в долине реки Песчаная около дер. Солоновка, является одним из опорных разрезов лёссовых отложений верхнего неоплейстоцена Предалтайской равнины. Он расположен в предфасовой части Горного Алтая, в Ануйском увале, и является переходным разрезом относительно условий лёссонакопления от Приобского плато к низогорной части Горного Алтая. Разрез имеет стратиграфическую, геологическую, палеопедологическую, палинологическую и палеонтологическую характеристики (Зыкин и др., 2017). В строении разреза выделяются переслаивающиеся четыре лёссовых горизонта и три палеопочвы (рис. 2).

**Разрез Белово** (N52°39'25" E83°38'25", 236 м) обнажен в Порозихо-Алейском увале вдоль левого берега р. Обь между населенными пунктами

Володарское, Белово и Вяткино. Мощность лёссовых отложений в увале составляет 70-100 м, в настоящей работе исследована только верхнелепестовая часть. Ранее разрез неоднократно изучался многими исследователями (Zykina et al., 2022; Архипов и др., 1997; Волков, 1971; Евсеев, 1973; Зыкина и др., 2000; Матасова и др., 2004, 2003; Поспелова, Зудин, 1967; Разрез..., 1978 и др.). Детальное описание разреза также неоднократно публиковалось (Zykina et al., 2022; Зыкина, Зыкин, 2012 и др.). В верхнелепестовой части разреза выделены перемежающиеся три лёссовых горизонта и два педокомплекса (рис. 3).

**Разрез Красногорское** (N52°18'35" E86°11'27", 274 м) заложен серией расчисток в бывшем карьере старого кирпичного завода, расположенного в пос. Красногорское, Красногорского р-на Алтайского края. Ранее разрез был описан в (Bábek et al., 2011; Зыкина и др., 2021, 2019). Отложения разреза вскрываются в четырех верхних расчистках и состоят из двух педокомплексов и трех лёссовых горизонтов (рис. 4).

**Разрез Ключи** (N54°50'44.9298" E83°12'40.4396", 226 м) расположен на Бердь-Инском междуречье, в пределах крупного увала между реками Шадриха и Ельцовка. В настоящее время увал сильно расчленен овражно-балочной сетью и небольшими реками. Разрез вскрыт в небольшом карьере, заложенном на склоне увала со стороны р. Каменушка. Субэвальные отложения лежат с перерывом в осадконакоплении, выраженным эрозионной границей, на отложениях педокомплекса, сформировавшегося на мощной толще субэвальных отложений. В строении субэвальной части разреза выделяется постепенный переход от перевеянных эоловых песков к полноценным лёссам. В верхней части выделены три солифлюкционно переработанных палеопочвы (рис. 5).

### **Глава 3. Метод люминесцентного датирования»**

Для реконструкции условий палеосреды очень важно иметь надежные данные о таких событиях, как начало и конец накопления стратиграфических единиц, времени формирования эрозионных границ и наличии перерывов в осадконакоплении. Метод люминесцентного датирования за несколько десятилетий зарекомендовал себя как источник качественных геохронологических данных, опробованный на множестве генетических типов четвертичных отложений, в том числе лёссово-почвенных серий, во всех регионах мира.

Люминесцентное датирование включает в себя ряд различных методов, имеющих в основе общий феномен – стимулированную люминесценцию минералов. Люминесцентное датирование базируется на принципе сохранения заряда в минералах, который накапливается в течение времени под воздействием ионизирующего излучения в

естественных условиях. Такие минералы работают в качестве естественных дозиметров. Накопленный заряд может быть выпущен в виде люминесцентного сигнала и измерен в лабораторных условиях, и при знании о скорости накопления данного заряда может быть определено время начала его накопления. Таким образом в простейшем виде определение возраста посредством люминесцентного датирования может быть выражено формулой: *Возраст = Накопленный заряд / Скорость накопления заряда (мощность дозы)*.

На данный момент современные протоколы датирования являются наиболее надежными, точными и быстрыми способами получения данных о люминесцентном возрасте рыхлых отложений. Протоколы включают в себя методы самопроверки, которые позволяют выявить некорректность измерений. А датирование высокого разрешения, с использованием множества последовательных образцов, позволяет выявить некорректные данные, связанные с неясными ошибками, например, засветка образцов при отборе или пробоподготовке.

Мировой опыт исследований показывает значительное доверие результатам люминесцентного датирования. Люминесцентное датирование позволило определить или уточнить время формирования лёссово-почвенных отложений большинства основных разрезов мира. Датирование высокого разрешения позволяет выявить перерывы в осадконакоплении, которые не имеют видимых литологических границ, а в некоторых случаях даже обнаружить некорректность ранее установленного стратиграфического положения выделенных стратиграфических единиц.

#### **Глава 4. Результаты датирования опорных разрезов лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири**

Из **разреза Ложок** было отобрано и продатировано тридцать восемь образцов. Положение отобранных образцов в разрезе и полученные даты изображены на рис. 1.

Данные измерений показывают закономерное возрастание эквивалентных доз и соответственно итоговых возрастов по разрезу сверху вниз. Даты, полученные по кварцевой фракции, находятся в диапазоне  $7,5 \pm 0,7$  –  $30,8 \pm 1,9$  т.л.н. Полевошпатовые датировки хорошо соответствуют кварцевым и находятся в диапазоне  $10,1 \pm 0,8$  -  $326 \pm 28$  т.л.н. Так как в практике люминесцентного датирования принято в первую очередь доверять возрастам, полученным по кварцевой фракции, для верхней части разреза ОСЛ датировки приняты как основные.

В верхней части разреза из гумусового слоя современной почвы с глубины 15 см получена единственная дата с возрастом  $7,5 \pm 0,7$  т.л.н

(10,1±0,8 т.л.н. ПШ), показывающая, что современный почвенный профиль начал формироваться только в голоцене.

Из нижележащего лёсса слоев Л1 и Л2 получено тринадцать датировок с диапазоном возрастов от 17,2±1,2 т.л.н. (19,8±1,6 т.л.н. по ПШ) до 30,8±1,9 т.л.н. (35,4±2,8 т.л.н. по ПШ). Полученные даты показывают относительно непрерывное осадконакопление в период формирования этой лёссовой толщи в течение МИС 3-2 без заметного перехода между слоями Л2 и Л3. Однако, замечен резкий скачок возрастов на глубине 267-253 см (образцы 186164 и 186163) с ~30 до ~23 т.л.н., что говорит о возможном наличии перерыва в осадконакоплении на границе МИС 3/2, хотя литологически он не выражен.

Гумусовый горизонт палеопочвы слоя ПП1 имеет датировку 130±14 т.л.н., а нижезалегающий иллювиальный горизонт, представленный переработанными лёссовыми отложениями - 151±7 т.л.н. Такой результат позволяет сопоставить данный палеопочвенный профиль с подстадией МИС 5е, сформированный на подстилающих лёссовых отложениях стадии МИС 6. Из расположенного над гумусовым горизонтом данной почвы серого опесчаненного прослоя Е1 получена дата возрастом 112±13 т.л.н. Вероятно данный прослой сформирован в конце подстадии МИС 5е, либо в течение подстадии 5с. Резкий разрыв в возрасте между данной палеопочвой и перекрывающим ее лёссом Л2 позволяет нам заключить о наличии значительного перерыва в осадконакоплении. Данный перерыв выраженный литологически в виде эрозионной границы и может свидетельствовать о том, что отложения периода большей части МИС 5, всего МИС 4 и значительной части МИС 3 были удалены пока неизвестным эрозионным процессом.

Из лёссовых отложений слоя Л3 получено тринадцать люминесцентных датировок с диапазоном возрастов от 151±2 т.л.н. до 198±11 т.л.н. Полученные датировки показывают время формирования отложений этого слоя в течение МИС 6 с относительно непрерывным осадконакоплением. Однако интервале глубин 357-333 см происходит резкий переход со 195±22 т.л.н. до 154±7 т.л.н., что говорит либо о резком уменьшении скорости осадконакопления во второй половине МИС 6, либо о наличии скрытого перерыва, который не имеет литологической выраженности.

Из палеопеδοкомплекса слоя ПП2 получено семь дат в диапазоне возрастов от 223±20 т.л.н. до 260±20 т.л.н. Нижняя палеопочва педокомплекса имеет три даты: 260±20, 234±20 и 229±23 т.л.н. Перекрывающий её лёсс имеет возраст 207±16 т.л.н. Верхняя палеопочва имеет возраст 212±15 т.л.н. Лёсс и гумусовый прослой верхней части педокомплекса имеют возраст 212±12 т.л.н. и 223±20 т.л.н.

соответственно. В соответствии с полученными датировками можно уверенно коррелировать время формирования педокомплекса соответствующее МИС 7, где палеопочвы и гумусовый прослой соответствуют подстадиям 7е, 7с и 7а соответственно, а лёссовые прослои 7d и 7b.

В основании расчистки из лёссовых отложений слоя Л4 имеется одна датировка -  $326 \pm 28$  т.л.н. С учетом доверительного интервала можно предположить время формирования данного лёссового горизонта как соответствующее МИС 8.

Из **разреза Солоновка** отобрано и продатировано двадцать образцов. Положение отобранных образцов и полученные даты изображены на рис. 2.

Из современной почвы отобран образец с глубины 20 см слоя П0. Полученная датировка  $1,9 \pm 0,6$  т.л.н. и  $1,9 \pm 0,5$  т.л.н. (по кварцу и полевому шпату соответственно) показывает голоценовый возраст формирования гумусового горизонта современной почвы. Образец из иллювиального горизонта современной почвы (относится к слою Л1) имеет возраст  $19,9 \pm 0,5$  т.л.н. по кварцу и  $26 \pm 1,4$  т.л.н. по шпатам. Столь сильная разница между полученными возрастами двух смежных горизонтов одного почвенного профиля может быть свидетельством эрозии поверхности увала перед формированием современного почвенного покрова.

Из слоев Л1, ПП1 и Л2 в совокупности было получено 16 дат. Возраст продатированных образцов варьируется в диапазоне от  $19 \pm 3,0$  т.л.н. до  $58 \pm 2,0$  т.л.н. и в целом имеет тренд плавного увеличения возраста сверху в низ по разрезу, а все имеющиеся инверсии возрастов незначительны с учетом доверительного интервала. Образец наиболее близкий к основанию слоя Л1 имеет возраст  $25,1 \pm 3,4$  т.л.н., а образец из кровли слоя ПП1 -  $29 \pm 3,2$  т.л.н., что в целом может свидетельствовать о выраженности границы между стадиями МИС 3/2 в виде окончания формирования палеопочвы слоя ПП1. Два образца из приподошвенной части слоя Л2 имеют возраст  $52 \pm 2,0$  и  $58 \pm 2,0$  т.л.н. Данный возраст близок к нижней границе МИС 3 в 57 тысяч лет.

Из лёссового прослоя под палеопочвой слоя ПП2, также являющегося иллювиальным горизонтом соответствующей почвы, были получены две даты:  $65,5 \pm 1,4$  т.л.н. по кварцу и  $57 \pm 1,6$  т.л.н. по полевому шпату из верхней части прослоя, и  $61 \pm 1,5$  т.л.н. по полевому шпату из основания прослоя. Полученные даты говорят о формировании данного прослоя лёсса в течение МИС 4, а палеопочва соответственно сформировалась в начале МИС 3.

Из основания гумусового горизонта палеопочвы ПП3 получена дата  $112 \pm 12,1$  т.л.н. Учитывая доверительный интервал можно говорить о

формировании данной палеопочвы в интервале МИС 5е. Разница в полученных датировках между двумя вышеупомянутыми слоями говорит о наличии перерыва длительностью ~55 тысяч лет.

Из **разреза Белово** отобрано и продатировано двадцать пять образцов. Положение отобранных образцов в разрезе и полученные даты изображены на рис. 3.

Из гумусового горизонта современной почвы по данным датирования полевошпатовой и кварцевой фракций получены даты  $8,6 \pm 0,5$  т.л.н. и  $2,3 \pm 0,1$  т.л.н. соответственно. Полученный возраст свидетельствует о голоценовом времени начала формирования современного почвенного покрова.

Из слоя Л1 получено одиннадцать датировок. Из преобразованной иллювиальными процессами современного почвообразования верхней части слоя получен возраст  $55,1 \pm 3,8$  т.л.н. Данный возраст соответствует границе МИС 4/3, и также свидетельствует о том, что современный почвенный покров сформирован на лёссовых отложениях ермаковского стадиала. Этот факт говорит о наличии перерыва практически полностью охватывающего МИС 3-2 связанного с эрозионной деятельностью, либо возможном отсутствии аккумулятивной деятельности на данном участке в этот период времени. Остальные датировки лёссового горизонта создают интервал формирования отложений от  $84,0 \pm 5,2$  т.л.н. до  $109,9 \pm 12,2$  т.л.н. Данный интервал охватывает период соответствующий второй половине МИС 5. Также очевидно наличие стратиграфического перерыва между двумя верхними датами слоя:  $84,0 \pm 5,2$  т.л.н. и  $55,1 \pm 3,8$  т.л.н. Указанный интервал очень хорошо соответствует МИС 4, что говорит о сильном снижении скорости накопления лёссовых отложений в то время, т.к. какой-либо эрозионной границы в разрезе не выявлено.

Из слоя ПК1 получено 4 даты. Верхняя палеопочва имеет возраст  $105,2 \pm 6,1$  т.л.н., нижняя  $113,1 \pm 6,3$  т.л.н. Лёссовый интервал между почвами имеет две датировки  $102,6 \pm 6,2$  т.л.н. и  $109,7 \pm 6,6$  т.л.н. В соответствии с полученными данными данный слой сформирован в течение подстадии МИС 5с.

Лёссовый слой Л2 имеет 6 датировок, образующих интервал возрастов  $113,2 \pm 6,6$  –  $121,6 \pm 7,1$  т.л.н. Принимая во внимание доверительный интервал, вполне вероятно, что слой формировался в течение подстадии МИС 5d.

Из слоя ПК2, соответствующего гумусовому горизонту нижней палеопочвы получена дата  $126,8 \pm 6,4$  т.л.н. Полученный возраст соответствует подстадии МИС 5е. Из слоя Л3, подстилающего палеопочву и в верхней части переработанного почвообразовательными процессами, получено две даты:  $152,2 \pm 10,3$  т.л.н. из иллювиального горизонта почвы и

158,2±9,9 т.л.н. из не переработанного лёсса. Полученные даты соответствуют МИС 6.

Для **разреза Красногорское** удалось получить шесть люминесцентных да-тировок. Положение отобранных образцов в разрезе и полученные даты изображены на рис. 4.

Образец из слоя Л2 имеет возраст 25,4±1,6 т.л.н., что соответствует МИС 2. Две последующих даты получены из лёссового прослая слоя ПП1, перемежающего две палеопочвы, и образуют диапазон 39,7±2,7 – 46,6±4,7 т.л.н. Возраст данного прослая указывает на время осадконакопления лёссового прослая и, вероятно, двух палеопочв в течение МИС 3. Полученная дата из слоя Л3 имеет возраст 48,4±3,3 т.л.н., что показывает время формирования отложений данного слоя также соответствующее первой половине МИС 3.

Из верхней и нижней части горизонта лёсса Л4, являющегося материнской породой для нижней палеопочвы, по фракции полевого шпата получено две даты возрастом 127,5±7,2 т.л.н. и 149,4±9,0 т.л.н., что соответствует МИС 6. Обе даты также указывают на время формирования вышезалегающей палеопочвы, соответствующее МИС 5е. Полученные датировки могут свидетельствовать о наличии перерыва в осадконакоплении между кровлей верхней палеопочвы педокомплекса ПП2 и подошвой вышележащего слоя Л3. Либо, в соответствии с результатами датирования разреза Солоновка, перерыв расположен на границе нижней палеопочвы педокомплекса ПП2 и вышележащим лёссовым прослоем.

Для **разреза Ключи** было выполнено ОСЛ датирование по девяти образцам. Положение отобранных образцов в разрезе и полученные даты изображены на рис. 5.

Из слоев 5, 4 и 3 получено четыре даты. В основании слоя 5 полученный возраст составил 45,6±3,7 т.л.н. Для лёссовых отложений слоя 4 получено две даты: 29,1±2,4, 30,9±3,5 и 25,6±1,4 т.л.н. Данные датировки позволяет предположить, что отложения формировались в течение МИС 3 – первой половине МИС 2.

Для лёссовидных суглинков слоя 2, вмещающих три уровня педоседиментов получены три датировки: 21,5±1,1 т.л.н. под нижней палеопочвой, 20,5±1,1 т.л.н. между нижней и средней палеопочвами, из 20,4±1,3 т.л.н. средней палеопочвы. Из лёссов слоя 1 сразу над верхней палеопочвой получена дата 20,7±1,6 т.л.н. Полученные даты позволяют установить, что время формирования слоя, вмещающего педоседименты соответствует середине МИС 2. Также была получена дата 15,2±1,0 т.л.н., из слоя 1, из основания дополнительной расчистки, соответствует

окончанию стадии МИС 2.

## **Глава 5. Люминесцентная хроностратиграфия лёссово-почвенной последовательности юго-востока Западной Сибири**

Несмотря на получение большого количества люминесцентных датировок из нескольких разрезов ни один продатированный лёссово-почвенный профиль в итоге не дает всей последовательности развития лёссово-почвенной формации региона. Однако имея геохронологические данные можно коррелировать основные стратиграфические единицы (рис. 6). Составной профиль, показанный на рис. 7 является результатом объединения наиболее представительных из изученных разрезов. Сравнивая полученную итоговую лёссово-почвенную последовательность с данными изотопных кривых ледяных и подводных кернов, можно разработать более надежную событийную стратиграфию.

### **МИС 7 (243-191 т.л.н.)**

Отложения, коррелируемые с МИС 7, были обнаружены и продатированы только в разрезе Ложок. Данные отложения представляют собой две палеопочвы и гумусированный прослой, которые перемежают небольшие лёссовые прослои. Принимая это во внимание этот интервал времени можно разделить на пять фаз осадконакопления. Ранняя фаза соответствует педологическому преобразованию ранее накопленных лёссовых отложений (чулымский лёсс) стадии МИС 8. С имеющимся количеством дат довольно проблематично установить длительность педогенетических процессов, но сопоставляя с морской изотопной шкалой (Lisiecki, Raymo, 2005) данный интервал соответствует подстадии 7e, т.е. временному интервалу 243-225 т.л.н. Если сопоставить палеопочву с подстадией 7e байкальской шкалы (Prokopenko et al., 2001) – ближайшем к территории исследования аналогом морской шкалы, то период формирования составит 230-220 т.л.н.

Лёсс перекрывающий нижнюю палеопочву формировался в холодный ин-тервал МИС 7d, в интервале 220(225)-210 т.л.н. Верхняя палеопочва таким образом соответствует теплой подстадии МИС 7с. В таком случае ее формиро-вание происходило 210-200 т.л.н. Лёссовый прослой перекрывающий верхнюю палеопочву был сформирован в подстадию МИС 7b 200-191 т.л.н. Время образования гумусового прослоя по данным датирования происходило около 190 т.л.н., что позволяет соотносить ее с подстадией МИС 7а. Однако длительность подстадии 7а составляет около 10 тысяч лет, что в нормальных условиях позволило бы сформировать палеопочву аналогичную нижележащей. В данном случае вероятно влияние локальных условий, когда длительность теплого

интервала не соответствует длительности подстадии, а похолодание началось раньше.

### **МИС 6 (191-130 т.л.н.)**

Наиболее полно отложения стадии МИС 6 представлены в разрезе Ложок. В соответствии с данными датирования отложения формировались в период  $198 \pm 11$  -  $154 \pm 7$  т.л.н. В разрезе Белово даты, полученные из верхней части сузунского лёсса, имеют возраст  $158 \pm 10$  и  $152 \pm 10$  т.л.н. Полученные даты позволяют заключить, что в разрезе Ложок и Белово отложения стадии МИС 6 прекратили формировать на ~15-20 тысяч лет раньше, чем закончилась стадия МИС 6. Однако данные расчеты не принимают во внимание объем лёссовых отложений, преобразованных в ходе формирования нижней палеопочвы бердского педокомплекса. В разрезе Красногорское из сузунского лёсса, наиболее близкая к кровле дата имеет возраст  $127 \pm 7$  т.л.н. Эта дата позволяет предположить, что формирование лёссовых отложений юго-востока Западной Сибири в течение стадии МИС 6 происходило вплоть до ее завершения.

### **МИС 5 (130-71 т.л.н.)**

Отложения стадии МИС 5 представлены в большинстве исследуемых разрезов. В разрезе Солоновка из единственной палеопочвы соответствующей подстадии МИС 5е получена дата  $112 \pm 12$  т.л.н. В разрезе Красногорское аналогичная палеопочва ограничена снизу датой  $127 \pm 7$  т.л.н. В разрезе Ложок палеопочва имеет возраст  $133 \pm 14$  т.л.н. В разрезе Белово соответствующая почва имеет дату  $126 \pm 6$  т.л.н. Полученные данные позволяют утверждать, что формирование палеопочв подстадии МИС 5е и соответственно казанцевское потепление в исследуемом регионе началось в соответствии с глобальными трендами около 130 т.л.н.

Помимо вышеупомянутой палеопочвы в разрезе Белово представлено два лёссовых горизонта и один педокомплекс, состоящий из двух палеопочв, которые формировались в течение МИС 5. Строение разреза и результаты датирования позволяют выделить минимум 4 фазы осадконакопления. В течение первой фазы была сформирована нижняя бердская палеопочва. Данная фаза соответствует казанцевскому межледниковью и подстадии МИС 5е. Результаты датирования не позволяют выделить временной интервал формирования палеопочвы, поэтому опираясь на корреляцию с изотопными шкалами можно предположить, что палеопочва сформировалась в интервале 130-115 т.л.н. Гумусированные прослои, расположенные над нижней бердской палеопочвой, имеют возраст около  $121 \pm 7$  т.л.н. В расчистке в 500 м от

изученной, эти прослои имеют аналог в виде полноценной палеопочвы (Зыкина, Зыкин, 2012). В совокупности обе палеопочвы формируют бердский педокомплекс, ближайший датированный аналог которого это каменоложский педокомплекс в разрезе Куртак, Средней Сибири (Frechen et al., 2005; Zander et al., 2003). В соответствии с результатами люминесцентного датирования две палеопочвы каменоложского педокомплекса ограничены снизу и сверху датами  $126 \pm 29$  и  $118 \pm 13$  т.л.н (Frechen et al., 2005). Такое сравнение подтверждает синхронность событий почвообразования и лёссонакопления обоих разрезов в течение стадии МИС 5е.

Второй фазой является формирование лёссового горизонта, перекрывающего нижний педокомплекс. Лёссовый горизонт имеет время формирования  $121 \pm 7$  -  $113 \pm 6$  т.л.н. Полученный интервал в целом совпадает с изотопной подстадией 5d.

Третья фаза характеризуется формированием педокомплекса в средней части разреза. Возраст педокомплекса по данным датирования оценивается как  $113 \pm 6$  -  $105 \pm 6$  т.л.н. Полученный интервал совпадает с подстадией МИС 5с. По всей видимости этот педокомплекс может быть аналогом нижней почвы сухоложского педокомплекса разреза Куртак, время формирования которого ограничено в интервале  $101 \pm 20$  -  $63 \pm 6$  т.л.н (Frechen et al., 2005; Zander et al., 2003).

Во время четвертой фазы был сформирован лёссовый горизонт верхней части разреза. Время формирования горизонта  $110 \pm 12$  -  $84 \pm 5$  т.л.н. совпадает с окончанием МИС 5с – первой половиной МИС 5а. Как видно в течение этого интервала сформировался мощный лёссовый горизонт, однако на кривой содержания пыли гренландского керна NGRIP (Ruth et al., 2003), отражающей запыленность атмосферы северного полушария, в период МИС 5с-а значительная эмиссия пыли произошла только под самый конец интервала, начиная с  $\sim 79$  т.л.н. По всей видимости основным источником пыли для формирования исследованной части разреза Белово являлся локальный перенос, что в целом подтверждается результатами гранулометрического анализа (Zykina et al., 2022). Вероятно, местные условия лёссонакопления являются уникальными для разреза Белово, так как в других исследованных разрезах отсутствует большая часть вышеупомянутых горизонтов. Однако такое положение делает этот разрез особенно важным для исследования изменений климата в течение стадии МИС 5 юго-востока Западной Сибири.

#### **МИС 4 (71-57 т.л.н.)**

Отложения стадии МИС 4 по данным датирования крайне слабо представлены в исследованных разрезах. В разрезе Солоновка отложения

соответствующего возраста представлены прослоем мощностью около 0,5 м с двумя датировками  $61 \pm 1,5$  и  $57 \pm 1,6$  т.л.н. В разрезе Красногорское ситуация либо аналогична разрезу Солоновка, либо отложения этого времени не представлены совсем. В разрезе Белово только около 0,6 м отложений в верхней части разреза, которые имеют дату  $55,1 \pm 3,8$  т.л.н., можно сопоставить с МИС 4. В разрезе Ложок все отложения периода МИС 5d-3 были удалены эрозийными процессами. Подобное положение позволяет предположить крайне низкую интенсивность процессов лёссонакопления.

### **МИС 3 (57-29 т.л.н.)**

Отложения стадии МИС 3 довольно хорошо представлены в исследуемых отложениях. Отложения этого этапа осадконакопления довольно сильно отличаются в исследованных разрезах, что, по-видимому, показывает сильную зависимость от локальных условий. По составленному сводному разрезу можно выделить три фазы осадконакопления.

Первая фаза представляет собой формирование палеопочвы на лёссовых отложениях стадии МИС 4. В разрезе Солоновка данная почва сформировалась между  $57 \pm 2,0$  т.л.н. и  $52 \pm 2,0$  т.л.н. В разрезе Красногорское, учитывая схожесть строения с разрезом Солоновка, можно предположить, что аналогичная палеопочва формировалась в примерно тот же интервал времени. В разрезе Ключи активное лёссонакопление началось с  $45,6 \pm 3,7$  т.л.н. Лёссы разреза формировались на палеопочве, возраст которой неизвестен. Полученный возраст палеопочвы в разрезе Солоновка позволяет сопоставить время ее формирования с подстадией МИС 3с.

Второй фазой является накопления лёссового горизонта. В разрезе Солоновка этот лёсс накапливался в период  $44 \pm 5$  -  $39 \pm 2$  т.л.н. В разрезе Красногорское можно условно ограничить время накопления интервалом  $48 \pm 3$  -  $>46 \pm 5$  т.л.н., так как непосредственно из этого горизонта имеется только одна дата. В разрезе Ключи в интервале  $45,6 \pm 3,7$  –  $29,1 \pm 2,4$  т.л.н. сформировался горизонт опесчаненного лёсса, представляющий всю стадию МИС 3 в этом разрезе. Однако выше залегают педоседи́менты, который предположительно сформировались также в течение МИС 3. В целом данную фазу осадконакопления можно сопоставить с подстадией МИС 3b. Также вероятно именно в это время началось очень активное лёссонакопление в исследуемом регионе, а соответствующие отложения покрывают значительную площадь и большинство современных форм рельефа.

Третья фаза представляет собой преобладание педогенетических процессов. В разрезе Солоновка эта фаза представлена слаборазвитой, но

довольно мощной палеопочвой с временем формирования  $42 \pm 5$  -  $32 \pm 7$  т.л.н. В разрезе Красногорское этап представлен двумя палеопочвами с датами  $46 \pm 5$  т.л.н. и  $39 \pm 3$  т.л.н., полученными из лёссового прослоя между ними. В разрезе Ключи имеются только ранее упомянутые педоседименты, которые имеют следы переотложения и предположительно омоложенные радиоуглеродные даты  $27144 \pm 658$  кал.л.н.,  $23896 \pm 1269$  кал.л.н. и  $30378 \pm 1214$  кал.л.н. Эту фазу осадконакопления можно сопоставить с подстадией МИС 3а.

### **МИС 2 (29-14 т.л.н.)**

Отложения этого этапа осадконакопления присутствуют в большинстве исследуемых разрезов и имеют относительно большую мощность. Довольно трудно дифференцировать данный этап на фазы, но в целом можно выделить некоторую закономерность лёссонакопления в разрезах, позволяющую разделять ельцовский и баганский лёсс. Граница между ельцовским и баганским лёссом в основном выделяется по резкому изменению плотности осадка. По результатам датирования в разрезе Ложок граница располагается около даты  $23 \pm 3$  т.л.н., в разрезе Солоновка около даты  $29 \pm 7$  т.л.н., в разрезе Красногорское около даты  $25 \pm 1$  т.л.н. Эти даты показывают, что изменение плотности осадка происходят примерно после начала последнего ледникового максимума. В этот период по данным исследования ледяных кернов Гренландии атмосфера Северной Евразии имела максимальную запыленность за последний ледниковый-межледниковый цикл (Gkinis et al., 2014; Ruth et al., 2003; Simonsen et al., 2019), что вероятно показывает глобальное увеличение эмиссии пыли в атмосферу, а скорость лёссонакопления значительно повысилась. Влияние процессов лёсификации на осажденную пыль в итоге значительно изменились, что привело к изменению плотностных характеристик осадка. По имеющимся датам проблематично предположить истинную длительность лёссонакопления, т.к. в разрезе Ложок дата ближайшая к поверхности имеет возраст  $17 \pm 1$  т.л.н., а в разрезе Солоновка  $20 \pm 1$  т.л.н. Вероятно, что верхняя часть отложений была удалена эрозионными процессами.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Результаты датирования показывают, что в разрезах лёссово-почвенных отложений, помимо явных перерывов в осадконакоплении, присутствуют и скрытые, ранее необнаруженные. В разрезе Ложок перерыв, выраженный эрозионной границей между палеопочвой ПП1 и выше залегающим лёссом Л2, имеет длительность ~80 тысяч лет. Помимо этого перерыва в разрезе Ложок можно предположить наличие перерывов

у основания слоя Л2 длительностью ~ 8 тысяч лет, и в верхней части слоя Л3 длительностью ~20 тысяч лет. В разрезе Солоновка полученные даты позволили установить, что в разрезе отсутствуют отложения подстадий МИС 5d-а и второй половины МИС 2. В разрезе Красногорское можно предполагать наличие перерыва, который расположен либо на верхней границе верхней палеопочвы нижнего педокомплекса, который показывает отсутствие отложений стадии МИС 4, либо на нижней, что говорит об отсутствии отложений стадии МИС 5с-а и МИС 4;

2. Результаты датирования показывают несоответствие с ранее принятым стратиграфическим расчленением лёссово-почвенных последовательностей некоторых исследованных разрезов. Так, в разрезе Ложок нижняя часть отложений ранее считавшаяся позднелепестовоценовой сформировалась в среднем и позднем неоплейстоцене. В разрезе Солоновка верхняя палеопочва нижнего педокомплекса, ранее считавшаяся соответствующей подстадии МИС 5-с, формировалась с течение первой половины стадии МИС 3. Отложения разреза Белово, ранее соотнесенные с поздним неоплейстоценом, формировались только в течение стадий МИС 5 и 4;

3. По результатам люминесцентного датирования было установлено время формирования основных стратиграфических единиц лёссово-почвенной последовательности второй половины среднего неоплейстоцена и позднего неоплейстоцена. Выделенные по люминесцентной хронологии этапы формирования лёссово-почвенных единиц хорошо соотносятся с глобальными записями климата морских изотопных стадий и могут быть скоррелированы с другими лёссово-почвенными последовательностями мира. В соответствии с полученными результатами в период  $260 \pm 20$  -  $198 \pm 11$  т.л.н., который соответствует стадии МИС 7, в разрезе Ложок сформировались две палеопочвы и гумусированный прослой, разделенные лёссовыми отложениями. Время формирования каждой из стратиграфических единиц соответствует теплой либо холодной подстадии МИС 7а-е соответственно. В период  $190 \pm 12$  -  $154 \pm 7$  т.л.н. (МИС 6) по данным датирования разреза Ложок сформирован лёссовый горизонт. В разрезе Красногорское к окончанию формирования этого горизонта наиболее близко стоит дата  $127 \pm 7$  т.л.н. По данным датирования разреза Белово в период  $126 \pm 6$  -  $84 \pm 5$  т.л.н. (МИС 5) были сформированы два педокомплекса и два лёссовых горизонта. Отложения нижнего педокомплекса, коррелируемого с казанцевским межледниковьем (МИС 5е) представлены также в разрезах Солоновка, Красногорское и Ложок. Нижний лёссовый горизонт разреза Белово формировался в МИС 5d, педокомплекс из средней части разреза в начале МИС 5с, а верхний лёссовый в период окончания МИС 5с – МИС 5а.

Отложения стадии МИС 4 очень слабо представлены в изученных разрезах, а их мощность до-вольно мала, что говорит о крайне слабом лёссонакоплении в этот период. Отложения стадии МИС 3, по результатам датирования разреза Солоновка, формировались в период  $61 \pm 1$  -  $29 \pm 3$  т.л.н. Во время подстадии МИС 3с в разрезе Солоновка происходило формирование палеопочвы. В разрезах Солоновка, Красногорское и Ключи были продатированы лёссовые отложения соответствующие подстадии МИС 3б. Отложения соответствующие МИС 3а поразному представлены в исследованных разрезах. В разрезе Солоновка это мощная, но слабо развитая палеопочва. В разрезе Красногорское – педокомплекс состоящий из двух палеопочв. В разрезе Ключи представлены только три уровня перелотложенных педоседиментов внутри лёсса стадии МИС 2. В течение стадии МИС 2 был сформирован мощный лёссовый покров, который присутствует во всех исследованных разрезах кроме Белово.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК РФ

1. Volvakh A.O., **Volvakh N.E.**, Ovchinnikov I.Y., Smolyaninova L.G., Kurbanov R.N. Loess-paleosol record of MIS 3 - MIS 2 of north-east Cis-Salair plain, south of West Siberia // *Quat. Int.* – 2022. – V. 620. – P. 58–74.

2. Вольвах А.О., **Вольвах Н.Е.**, Смолянинова Л.Г. Палеоклиматические из-менения и короткопериодичные события позднего плейстоцена в записи лёссовых отложений разреза Ложок, юго-восток Западной Сибири // *Геология и минеральносырьевые ресурсы Сибири.* – 2019. – Т. 4. – С. 17–27.

3. **Вольвах Н.Е.**, Курбанов Р.Н., Вольвах А.О., Зыкина В.С., Хашевская Д.Е., Булард Я.-П., Мюррей Э.С. Первые результаты люминесцентного датирования лёссово-почвенный серий юга Западной Сибири (опорный разрез Ложок) // *Известия РАН, Серия Географическая.* – 2021. – Т. 85. – С. 284–301.

4. Зыкина В.С., Вольвах А.О., Зыкин В.С., **Вольвах Н.Е.** Особенности строения верхнеплейстоценовой лёссовопочвенной последовательности Колыванского увала Предалтайской равнины // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири.* – 2018. – Т. 3. – С. 54–64.

5. Зыкина В.С., Зыкин В.С., **Вольвах Н.Е.**, Вольвах А.О., Мюррей Э.С., Таратунина Н.А., Курбанов Р.Н. Новые данные о хроностратиграфии

верхнеплейстоценовой лёссово-почвенной серии юга Западной Сибири // Доклады Российской Академии Наук. Науки о Земле. – 2021. – Т. 500. – С. 193–199.

6. Вольвах А.О., **Вольвах Н.Е.**, Овчинников И.Ю., Маликов Д.Г., Щеглова С.Н. Свидетельства потеплений, записанные в лёссовых отложениях последнего оледенения, и динамика лёссонакопления в Северо-Западном Присалаирье (юго-восток Западной Сибири) // Геосферные исследования. – 2020. – Т. 3. – С. 123–143.

### Статьи в сборниках научных работ и материалах конференций

7. Volvakh A.O. Late Pleistocene environmental reconstruction of loess formation of Lozhok key section, Ob Loess Plateau, West Siberia; new data / Volvakh A.O., **Volvakh N.E.**, Zykina V.S. // Abstr. Int. Conf. “Diversity loess Prop. Stratigr. Orig. Reg. Featur. – Moscow-Volgograd, Sept. 23-29. – 2018. – P. 55–57.

8. Вольвах А. О. Новые данные о строении и об условиях осадконакопления верхнеплейстоценовой лёссовой формации Новосибирского Приобья / Вольвах А. О., **Вольвах Н.Е.**, Маликов Д.Г., Пронина И.А. // IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле. Материалы конференции. – Новосибирск. – 2018. – С. 115–117.

9. **Volvakh N.E.** First high-resolution luminescence chronology of West Siberian loess, Lozhok key section (Ob loess Plateau) / Volvakh N.E., Buylaert J.-P., Vovalkh A.O., Zykina V.S., Murray A.S., Kurbanov R.N. // UK Luminescence and ESR Dating Meeting. – Roskilde, Denmark. – 2019. – P. 84.

10. **Volvakh N.E.** Luminescence chronology of environmental evolution of the Ob Plateau loess-palaeosol sequence in the Late Quaternary / Volvakh N.E., Kurbanov R.N., Volvakh A.O., Zykina V.S., Murray A.S. // 20th Congr. Int. Union Quat. Res. (INQUA), Dublin, Ireland. – 2019. – С. 4–5.

11. Volvakh A.O. Late Pleistocene loess deposits and palaeoenvironmental conditions in Iskitim district, Novosibirsk Ob region, West Siberia / Volvakh A.O., **Volvakh N.E.** // 20th Congr. Int. Union Quat. Res. (INQUA). – Dublin, Ireland. – 2019. – P. 83–84.

12. **Вольвах Н.Е.** Первый опыт применения ОСЛ датирования по трем протоколам для лессов Западной Сибири / Вольвах Н.Е., Курбанов Р.Н., Вольвах А.О., Свистунов Е.И., Маликов Д.Г., Булард Я.-П., Мюррей Э.С. // Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена и голоцена: Материалы Всероссийской конференции с международным участием «Марковские чтения 2020 года» / под ред. Н. С. Болиховская, Т. С. Ключиткина, Т. А. Янина. – Москва. – 2020. – С. 82–86.

13. **Вольвах Н. Е.** Новые данные об абсолютном возрасте лёссово-

почвенной последовательности Новосибирского Приобья / Вольвах Н. Е., Вольвах А. О., Курбанов Р. Н. // Материалы XI Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода Фундаментальные проблемы квартера итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. – 2020. – С. 97-101.

14. Meshcheryakova O.A. The Upper Pleistocene loess-paleosol sequence of the Cis-Altai plain (Solonovka section): first OSL results / Meshcheryakova O.A., Buylaert J.-P., **Volvakh N.E.**, Volvakh A.O., Zykina V.S., Kurbanov R.N., Murray A.S. // 16th International Luminescence, Electron Spin Resonance Dating Conference. – 2021. – P. 162.

15. **Volvakh N.E.** First high-resolution OSL dating study of the loess-paleosol sequence of Southern Siberia (Lozhok reference section) / Volvakh N.E., Kurbanov R.N., Buylaert J.-P., Murray A.S., Stevens T., Volvakh A.O., Taratunina N.A., Zykina V.S. // 16th International Luminescence, Electron Spin Resonance Dating Conference. – 2021. – P. 256.

### Глава в монографии

16. Курбанов Р.Н., Таратунина Н.А., **Вольвах Н.Е.** Опыт применения ОСЛ-датирования в изучении лессово-почвенных серий Северной Евразии. / Актуальные проблемы палеогеографии плейстоцена. Научные достижения Школы академика К.К. Маркова / Коллектив авторов / Отв. ред. Т.А. Янина; Ред. Н.С. Болиховская, Е.И. Полякова, Т.С. Ключиткина, Р.Н. Курбанов. – М.: Географический факультет МГУ. – 2020. – 689 с.

Технический редактор Т.С. Курганова

---

Подписано в печать .08.2022

Формат 60x84/16. Бумага офсет №1. Гарнитура Таймс

Печ.л. 1,5. Тираж 110. Зак. № 215

---

ИНГГ СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3

Стратиграфическое расчленение по  
Зыкина и др., 1981; Sizikova, Zykina, 2015 и др.

Стратиграфическое расчленение по  
результатам люминесцентного датирования

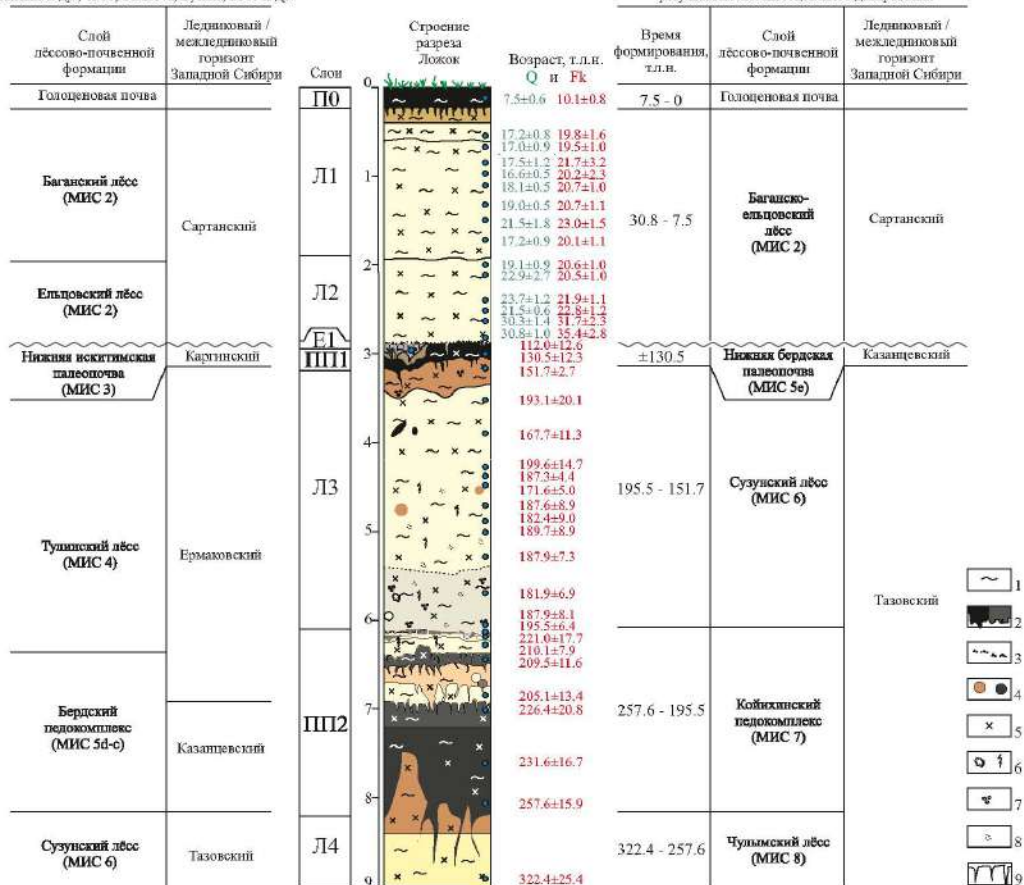


Рисунок 1 - Строение и стратиграфическое расчленение разреза Ложок

Условные обозначения: 1 - лессовидный суглинок, 2 - гумусовый горизонт палеопочвы, 3 - песок, 4 - кротовины, 5 - карбонатность, 6 - железистые новообразования, 7 - оглеение, 8 - марганцовистый крап, 9 - клинья.

Стратиграфическое расчленение по  
Зыкина и др., 2017

Стратиграфическое расчленение по  
результатам люминесцентного датирования

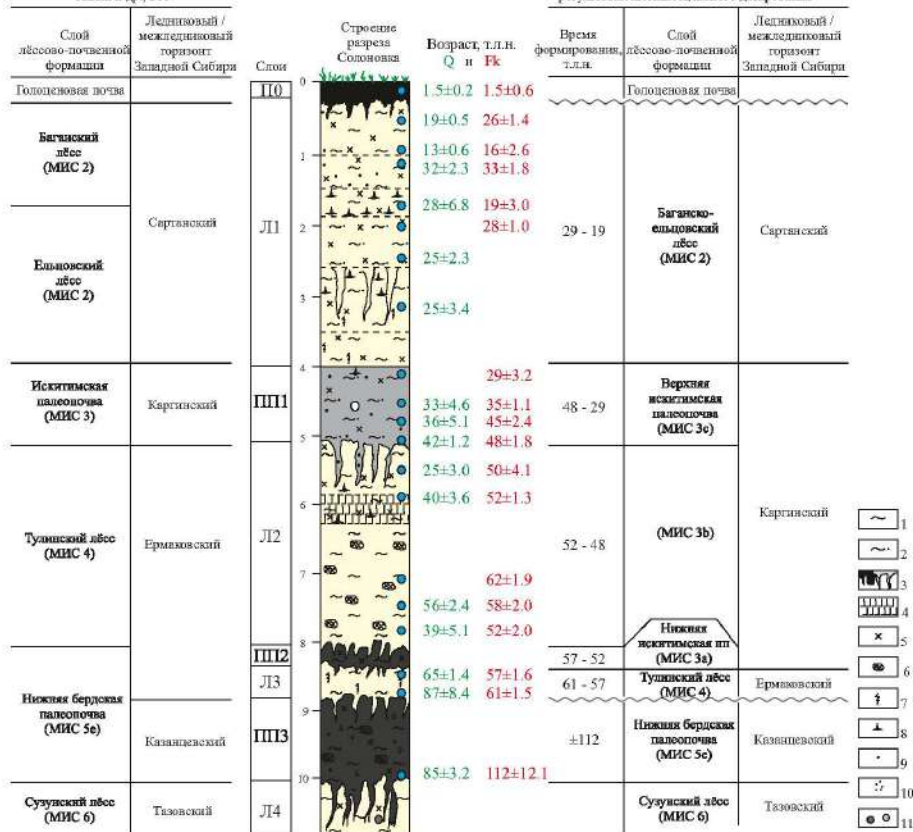


Рисунок 2 - Строение и стратиграфическое расчленение разреза Солоновка

Условные обозначения: 1 - лессовидный суглинок, 2 - суглинок опесчаненный, 3 - гумусовый горизонт палеопочвы, 4 - оструктуренный горизонт, 5 - карбонатность, 6 - карбонатные конкреции, 7 - ожелезнение, 8 - гипсовые конкреции, 9 - марганцовистые дробовины, 10 - марганцовистый крап.

Стратиграфическое расчленение по  
Зыкина, Зыкин, 2012; Zykina et al., 2022

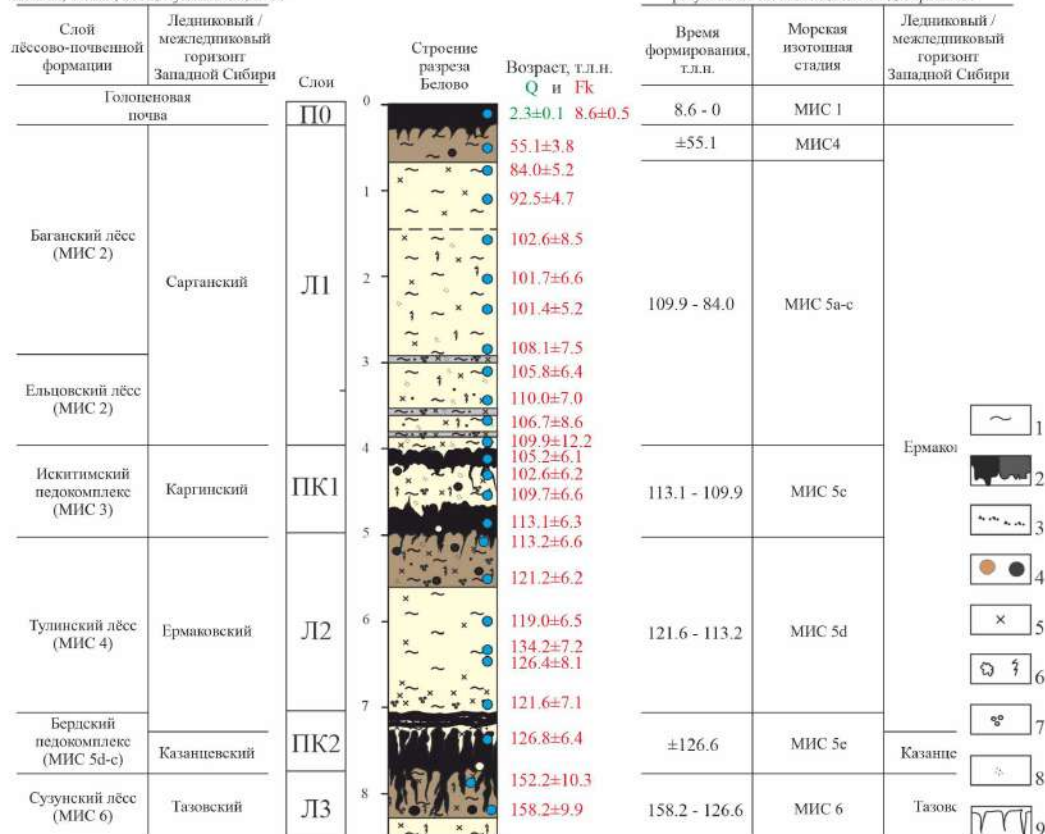


Рисунок 3 - Строение и стратиграфическое расчленение разреза Белово

Условные обозначения: 1 – гумусовый горизонт, 2 - суглинок, 3 – суглинок опесчаненный, 4 - железистые новообразования, 5 - оглеение, 6 – карбонаты, 7 – марганцевые новообразования, 8 – кротовины.

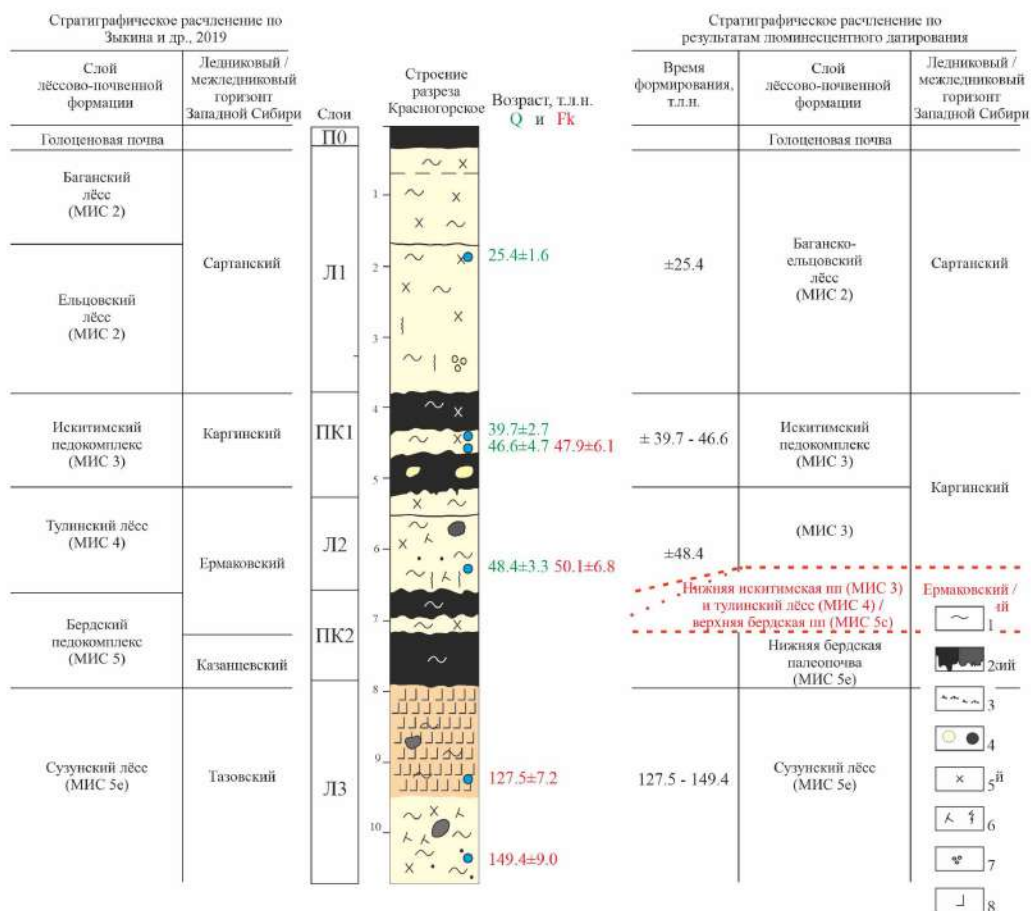


Рисунок 4 - Строение и стратиграфическое расчленение разреза Красногорское

Условные обозначения: 1 – суглинок, 2 - гумусовый горизонт, 3 – марганцевые новообразования, 4 - кротовины, 5 – карбонатные новообразования, 6 – гипсовые и железистые новообразования, 7 – оглеение, 8 – структурированный иллювиальный горизонт.

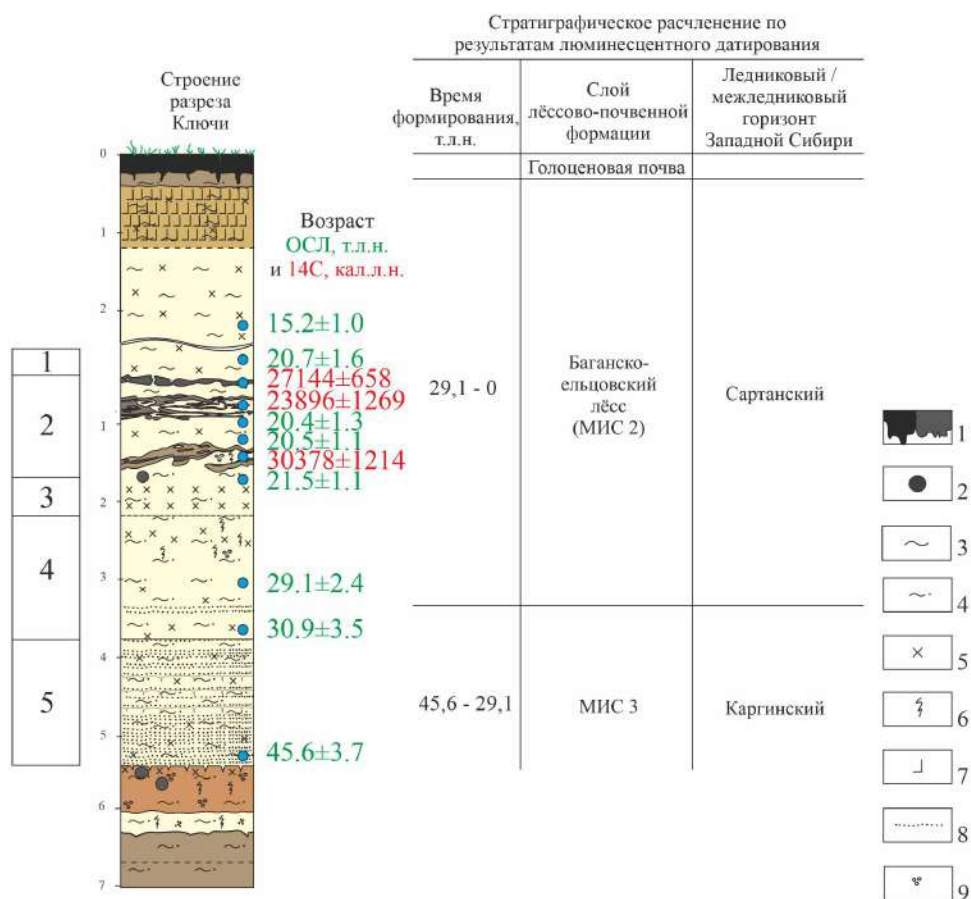


Рисунок 5 - Строение и стратиграфическое расчленение разреза Ключи

Условные обозначения: 1 – гумусовый горизонт, 2 – кротовины, 3 – суглинок, 4 – суглинок опесчаненный, 5 – карбонатные новообразования, 6 – железистые новообразования, 7 – структурированный иллювиальный горизонт, 8 – песчаные прослои, 9 – оглеение.

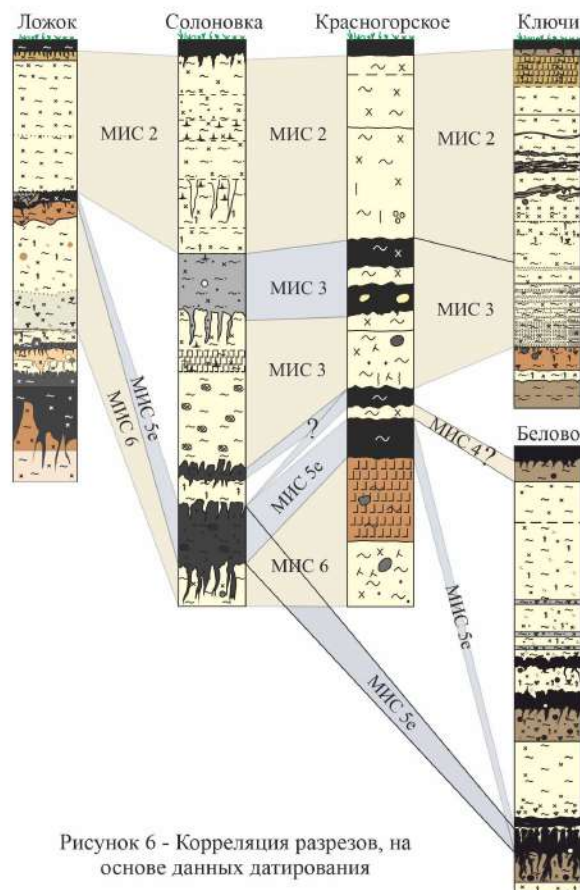


Рисунок 6 - Корреляция разрезов, на основе данных датирования

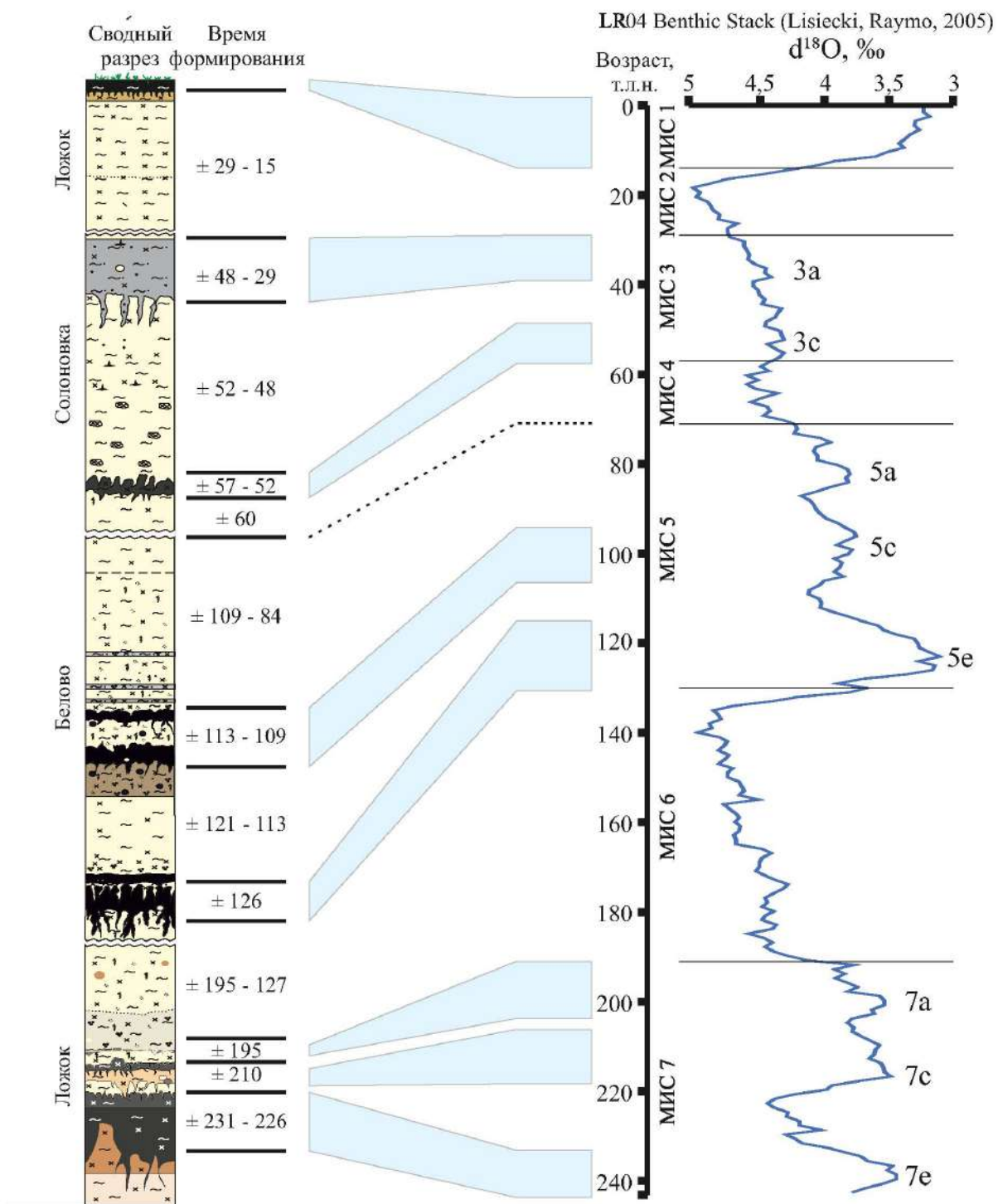


Рисунок 7 - Корреляция составного профиля лёссово-почвенной последовательности с морскими изотопными стадиями