



Оригинальная статья

Криогенно-динамические условия локализации остатков мамонтовой фауны в бассейне реки Тирехтях (правый приток реки Индигирка)

Е. А. Нестерова

*ГБУ Академия наук РС (Я), г. Якутск, Российская Федерация
ФИЦ «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Российская Федерация
katrete@mail.ru*

Аннотация

Статья посвящена выявлению закономерностей локализации остатков животных мамонтовой фауны в бассейне р. Тирехтях (правый приток Индигирки) в связи с современными криогенно-динамическими процессами. Район исследования позиционируется как уникальное местонахождение ископаемой фауны позднего неоплейстоцена, где высокая концентрация костных остатков обусловлена спецификой строения и деградации ледового комплекса. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разрешения существенного противоречия между общепринятой гипотезой о реликтовом равномерном распределении ископаемых остатков в едомных толщах и эмпирическими данными, которые свидетельствуют об их концентрации в определенных геоморфологических элементах и зонах современного криогенного морфолитогенеза. Цель работы – на основе комплексного анализа данных (космоснимков, полевых наблюдений и ГИС-моделирования) определить, какую роль в формировании вторичных скоплений костных остатков играют русловые процессы, протекавшие в позднем плейстоцене, и современные криогенные факторы, такие как термоэрозия, термоденудация и солифлюкция. Методика исследования основана на крупномасштабном геоморфологическом картографировании с применением данных дистанционного зондирования и цифровых моделей рельефа. Ключевым этапом стал пространственный анализ корреляции точек находок с морфометрическими параметрами рельефа, такими как уклоны поверхности, экспозиция склонов и глубина расчленения. Полевые работы включали в себя маршрутные обследования выявленных аномалий с описанием разрезов и привязкой координат находок. В результате установлено, что основными факторами, определяющими локализацию скоплений, являются не столько участки первичного захоронения (тафономические комплексы), сколько зоны активного современного разрушения едомных толщ. Практическая значимость работы заключается в разработке количественного прогностического критерия для поиска ископаемой мамонтовой кости и остатков мамонтовой фауны. В рамках исследования составлено картографическое изображение уклонов в пределах едомных массивов, что позволило выделить зоны с различной крутизной рельефа местности. Предлагаемый подход способствует переходу от случайных поисков к целенаправленным исследованиям, основанным на научных прогнозах. Это, в свою очередь, значительно повышает экономическую эффективность промысла и снижает техногенную нагрузку на хрупкие арктические экосистемы.

Ключевые слова: мамонтовая фауна, ископаемая мамонтовая кость, условия захоронения, распространение, уклон рельефа местности, цифровая модель рельефа (ЦМР)

Финансирование. Работа выполнена в рамках госзадания Академии наук Республики Саха (Якутия) 1.1 «Палеоэкологические исследования позднего плейстоцена Якутии» и II этапа Комплексных научных исследований, направленных на развитие производительных сил и социальной сферы (КНИ-2) «Поиск и ресурсная оценка местонахождений мамонтовой фауны, социально-правовые и экологические аспекты добычи ископаемой мамонтовой кости в Арктической зоне РС (Я)».

Для цитирования: Нестерова Е.А. Криогенно-динамические условия локализации остатков мамонтовой фауны в бассейне реки Тирехтях (правый приток реки Индигирка). *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2026;31(1):93–104. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2026-31-1-93-104> EDN: MFVIQT

Cryogenic and dynamic conditions of localization of mammoth fauna remains in the Tirekhtyakh River basin (right tributary of the Indigirka River)

Ekaterina A. Nesterova

Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation
Federal Research Center “The Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”,
Yakutsk, Russian Federation
katretea@mail.ru

Abstract

This article identifies the patterns of localization of mammoth fauna remains in the Tirekhtyakh River basin (right tributary of the Indigirka River) in relation to modern cryogenic and dynamic processes. The study area is a unique location for Late Pleistocene fossil fauna, where a high concentration of bone remains results from the specific structure and degradation of the ice complex. The relevance of this study stems from the need to resolve a significant contradiction between the widely accepted hypothesis of a relict, uniform distribution of fossils within Yedoma strata and empirical data indicating their concentration within specific geomorphological features and zones of active cryogenic morpholithogenesis. The aim of this work was to determine the role of Late Pleistocene riverine processes and modern cryogenic factors – such as thermal erosion, thermal denudation, and solifluction – in the formation of secondary accumulations of bone remains, based on a comprehensive analysis of satellite imagery, field observations, and GIS modeling. The methodology was founded on large-scale geomorphological mapping utilizing remote sensing data and digital elevation models (DEMs). A key stage involved spatial analysis to correlate find locations with morphometric relief parameters, including slope gradient, slope aspect, and depth of dissection. Fieldwork comprised route surveys of identified anomalies, accompanied by descriptions of sections and recording of find coordinates. The results indicate that the primary factors controlling the localization of accumulations are not the initial burial sites (taphonomic complexes) themselves, but rather the zones of active modern destruction of Yedoma strata. The practical significance of this work lies in the development of a quantitative predictive criterion for prospecting fossil mammoth bones and associated remains. As part of the study, a map of slopes within the Yedoma massifs was compiled, enabling the identification of zones with varying terrain steepness. The proposed approach facilitates a transition from random discovery to targeted exploration based on scientific prediction. This, in turn, significantly increases the economic efficiency of collection efforts and reduces the anthropogenic impact on fragile Arctic ecosystems.

Keywords: mammoth fauna, fossil mammoth bone, burial conditions, distribution, terrain slope, digital relief model (DEM)

Funding. This work was conducted within the framework of the state assignment to the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia) under Project 1.1 “Paleoecological studies of the Late Pleistocene of Yakutia” and as part of Stage 2 of the Comprehensive Scientific Research aimed at the development of productive forces and the social sphere (KNI-2), specifically the project “Research and resource assessment of mammoth fauna locations, and the social, legal and environmental aspects of fossil mammoth bone extraction in the Arctic Zone of the Republic of Sakha (Yakutia)”.

For citation: Nesterova E.A. Cryogenic and dynamic conditions of localization of mammoth fauna remains in the Tirekhtyakh River basin (right tributary of the Indigirka River). *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2026;31(1):93–104. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2026-31-1-93-104> EDN: MFVIQT

Введение

Мамонтовая фауна – это комплекс млекопитающих, которые были основными обитателями экосистем в период позднего неоплейстоцена. Она представляет собой не только объект палеонтологических исследований, но и предмет междисциплинарного научного внимания, охватывающего области палеоэкологии, четвертичной геологии и климатологии. Вымирание ключевых представителей этой мегафауны, таких как шерстистый мамонт (*Mammuthus primigenius* Blum., 1799) и шерстистый носорог (*Coelodonta antiq-uitatis* Blum., 1799), в начале голоцена является одной из центральных тем в науке о четвертич-

вающего области палеоэкологии, четвертичной геологии и климатологии. Вымирание ключевых представителей этой мегафауны, таких как шерстистый мамонт (*Mammuthus primigenius* Blum., 1799) и шерстистый носорог (*Coelodonta antiq-uitatis* Blum., 1799), в начале голоцена является одной из центральных тем в науке о четвертич-

ном периоде [1, 2]. В современных условиях остатки мамонтовой фауны, сохранившиеся в условиях многолетней мерзлоты, приобрели огромную экономическую и социальную значимость. Добыча мамонтовой кости стала важным источником дохода для жителей арктических регионов Якутии [3]. Это делает актуальным не только фундаментальное изучение причин вымирания, но и прикладные исследования, направленные на прогнозирование мест, где можно обнаружить скопления ископаемых остатков.

В Арктической Якутии основными горными породами, содержащими остатки мамонтовой фауны, являются «едомы» – ледово-грунтовой органический комплекс позднеплейстоценового возраста. Эти отложения характеризуются сингенетическим типом промерзания и исключительно высокой льдистостью, обусловленной наличием сквозных полигонально-жильных льдов, сформировавшихся в перигляциальных условиях [4].

Долгое время преобладала точка зрения, основанная на масштабных работах ГП «Северкварцсамоцветы», согласно которой костные остатки распределены в едомных толщах относительно равномерно [14]. Эта гипотеза предполагала, что накопление фауны было фоновым процессом, синхронным осадконакоплению. Однако в последние десятилетия было собрано большое количество данных, которые ставят под сомнение эту гипотезу. Исследования показывают, что расположение костей и бивней не является случайным или равномерным, а подчиняется определенным геологическим и геоморфологическим закономерностям [6, 7]. Это приводит к ключевой научной дискуссии: являются ли места захоронения мамонтовой фауны результатом равномерного захоронения или их формирование контролировалось специфическими процессами, такими как русловая и пойменная седиментация, криогенное переотложение и особенности палеорельефа.

Разрешение этого противоречия имеет огромное значение. Если верна вторая гипотеза, то локализацию местонахождений можно прогнозировать, выявляя связи с определенными геоморфологическими элементами. Это позволяет перевести поиск из разряда случайных находок в область целенаправленных исследований.

Из этого вытекают следующие гипотезы исследования:

– Основные местонахождения остатков мамонтовой фауны в едомных толщах северо-востока Якутии сосредоточены не в случайных участках,

а в специфических типах коллекторов, которые связаны с древними русловыми системами: русловыми, пойменными и старичными отложениями.

– Современная криогенно-динамическая обстановка, включающая термоэрозию, солифлюкцию и образование оврагов, не просто обнажает ранее захороненные остатки, но активно влияет на их перераспределение и современную пространственную локализацию.

– Связь скоплений фауны с древними и современными русловыми процессами проявляется в устойчивых геоморфологических индикаторах, которые можно идентифицировать с помощью дистанционных методов, таких как данные ГИС и космические снимки.

Основная цель настоящей работы – определить роль позднеплейстоценовых речных процессов и современных криогенных явлений (термоэрозия, термоденудация, солифлюкция) в образовании вторичных скоплений костных остатков, используя космические снимки, полевые наблюдения и ГИС-моделирование.

Таким образом, данное исследование направлено на переход от простого описания местонахождений мамонтовой фауны к прогнозированию их расположения. Для этого будут использованы данные, полученные в ходе полевых геологических исследований, а также методы дистанционного зондирования Земли. Это поможет нам разрешить существующие разногласия в понимании того, как сформировались эти скопления.

Материалы и методы

Для расшифровки космоснимков важны различные характеристики рельефа: относительная высота, уклоны и расположение природных объектов, таких как горы, равнины и реки. При использовании ГИС-технологий для изучения рельефа и стока уклоны играют ключевую роль. Однако, при проведении исследования учитывались особенности территории и наличие ландшафтов едомы, которые характеризуются термокарстовыми образованиями, возникающими в результате таяния многолетней мерзлоты [5].

В арктических районах Якутии можно встретить множество термокарстовых озер, которые появляются в результате оседания грунта, вызванного таянием льдов. Эти озера часто имеют круглую или неправильную форму с крутыми склонами и могут быстро осушаться из-за термической эрозии. После высыхания или испарения термокарстовых озер образуются впадины

с плоским дном — аласы. Они обычно окружены возвышенностями, которые являются остатками едомы. В исследуемом районе едома повсеместно обнажается в виде останцов перигляциальных равнин.

Формирование ледового комплекса (едомы) на протяжении десятков тысяч лет в условиях холодного и засушливого климата играет важную роль в сохранении остатков животных мамонтовой фауны. Ледовый комплекс представляет собой многолетнюю мерзлоту, сформированную одновременно с озером. Остатки животных, погребенные в ней на глубине нескольких метров, на протяжении десятков тысяч лет находились в неизменных температурных и мерзлотных условиях.

Геолого-геоморфологический анализ. Распределение четвертичных отложений на территории исследования, где были обнаружены остатки мамонтовой фауны, стало отправной точкой для комплексного анализа данных дистанционного зондирования в рамках геоинформационной системы (ГИС). Этот процесс включал в себя создание многомерной аналитической модели, которая объединила разнородные пространственные данные в единую систему координат. В ГИС были загружены и точно сопоставлены исходные растровые данные, многоканальные космические снимки в оптическом и инфракрасном диапазонах, радиолокационные изображения, а также цифровые модели рельефа высокого разрешения. Каждый из этих слоев позволил получить информацию о характеристиках свойств поверхности. Для преобразования этих данных в диагностические признаки, непосредственно связанные с литологией и криогенным строением ледового комплекса, в ГИС был проведен ряд пространственных анализов.

Пространственный анализ, основанный на независимых полевых данных о координатах местонахождений остатков животных мамонтовой фауны, сыграл ключевую роль в проверке и корректировке предварительных результатов. Окончательные растровые данные вероятностной классификации были преобразованы в полигональные контуры с помощью векторизации. Эти контуры затем прошли процедуру картографической генерализации, в процессе которой границы были упрощены как автоматически, так и вручную. Это позволило устранить пикселизацию и выделить основные контуры отложений четвертичного периода.

Таким образом, итоговые контуры четвертичных отложений, полученные на основе космических снимков, представляют собой не просто субъективно нарисованные линии, а объективизированные границы, которые были выявлены на основе статистической модели, обученной на сочетании дистанционных и наземных данных.

Часто понятия «ледовый комплекс» и «едома» употребляются как синонимы. Однако в изучении остатков животных мамонтовой фауны между ними есть различия. Ранее обнаруженные отдельные находки мамонтов описывались как найденные в мерзлоте, и отмечалось обилие подземного льда [15]. Затем едому (возвышенность) стали рассматривать как тип ландшафта [9]. Она представляет собой образования высотой в несколько десятков метров, сложенные из сильнольдистых суглинков. Эти образования содержат 50–70 % чистого льда в виде вертикальных ледяных жил полигональной формы в плане. Блоки внутри полигонов состоят из минерального грунта, суглинка и органических остатков. При вытаивании ледяных жил под воздействием антропогенных факторов и потепления климата образуется специфический бугристо-западинный рельеф. Таким образом, понятие ледового комплекса помогает глубже понять структуру мерзлоты и причины уникальной сохранности древних остатков плейстоценовых животных.

Древние реликтовые образования, такие как едома, способствовали быстрой и постоянной заморозке отложений и животных, которые попадали в болотистые места, трещины, тонули и быстро замерзали. Благодаря низким температурам остатки мамонтовой фауны сохранились до наших дней, поскольку бактерии не могли активно развиваться. Это является основным условием сохранения не только костных остатков, но и находок с мягкими тканями, шерсти, кожи и внутренних органов.

На отдельных местонахождениях, где есть едомные отложения, происходили оползни, вызванные таянием многолетней мерзлоты. Эти оползни открывают более глубокие слои льда. Они часто встречаются по берегам рек или на склонах аккумулятивных равнин, их можно исследовать с помощью снимков из космических спутников.

Анализ уклона местности является одним из ведущих не прямых методов, используемых для поиска мамонтовой фауны. Уклон рассчитывает-

ся на основе цифровой модели рельефа (ЦМР), которая представляет собой трехмерное представление поверхности земли. ЦМР содержит информацию о высоте каждой ячейки сетки, а затем уклон рассчитывается путем сравнения разницы. Анализ уклона местности состоит в сравнении разностей высот между одной ячейкой и ее соседними.

Существует несколько методов анализа уклона местности, включая подходы, основанные на растровых и векторных данных.

При использовании растровых данных рельеф разбивается на сетку пикселей, каждая из которых представляет собой определенное значение, отражающее уклон в этом месте. Растровые данные в формате идеально подходят для отображения непрерывных поверхностей.

Векторные данные представлены в виде полигонов – объектов, которые обозначают области с одинаковым уклоном и другими характеристиками рельефа. Преимущество векторного формата заключается в том, что он позволяет точно отображать границы и другие особенности.

Определение уклонов играет важную роль в установлении границ водоразделов, что, в свою очередь, указывает на направление дренажа воды. Следует отметить, что более крутые уклоны способствуют более быстрому потоку воды. Исследование моделей уклонов помогает точно определить водосборные бассейны, пути поверхностных вод и другие аспекты. Эта информация является ключевой для понимания условий захоронения остатков животных мамонтовой фауны в коллекторах различных типов.

Методы дистанционного зондирования Земли и ГИС открывают новые горизонты для анализа высоты и уклона земной поверхности, используя данные космических спутников. Эти данные отражают уклон поверхности Земли в зависимости от положения солнца и источника света, а вычисления проводятся с учетом широты и времени суток. В результате получается значение, пропорциональное количеству прямой солнечной энергии, достигающей пикселя на изображении космического спутника [11]. При таком анализе можно учитывать тени, отбрасываемые более высокими соседними объектами. Для этого используется специальная модель, которая учитывает перехват светового луча препятствиями. Прямое освещение в тенях устанавливается равным нулю, что позволяет точно отразить реальное состояние поверхности.

Полевые исследования. В августе 2022 г. в Абыйском районе, в нижнем течении р. Тирехтах, правого притока Индигирки, были проведены полевые исследования, в ходе которых собран сравнительный материал. В работе использовались космические снимки, полученные с помощью GMTED и Sentinel 2 в 2024 г. Сравнение снимков и вычисление векторных слоев данных позволили сделать вывод, что рельеф исследуемой территории, бассейна р. Тирехтах, хотя и претерпел изменения, однако не изменился существенно с 2022 г. Поэтому для анализа уклонов рельефа местности были использованы современные данные снимков Sentinel 2, преобразованные в растровые слои. Обработка данных проходила в несколько взаимосвязанных этапов. Все полученные результаты были сопоставлены с картами геологических и криологических отложений.

Результаты, обсуждение

Помимо множества разрозненных костей мамонтовой фауны, обнаруженных на прибрежных речных и морских пляжах Якутии и часто перенесенных водным потоком на большие расстояния, значительное количество палеонтологических находок связано с местонахождениями мамонтовой фауны. Эти местонахождения представляют собой скопления костей и скелетов позднелестоценовых животных, которые часто называют «мамонтовыми кладбищами». Среди основных видов, встречающихся в таких палеонтологических сообществах, можно выделить мамонта (*Mammuthus primigenius* Blum., 1799), шерстистого носорога (*Coelodonta antiquitatis* Blum., 1799), первобытного бизона (*Bison priscus* Boj., 1827) и ленскую лошадь (*Equus lenensis* Rus., 1968). Реже встречаются остатки других животных.

Наиболее известные и хорошо изученные места, где были найдены массовые скопления остатков мамонтовой фауны на территории Республики Саха (Якутия), расположены в арктических районах. К ним относятся Берелехское кладбище мамонтов, расположенное в Аллаиховском районе, Аччыгый-Аллаиха в том же районе, а также Дуванный Яр в Нижнеколымском районе. Кроме того, существуют и другие известные местонахождения мамонтовой фауны. Геологический разрез этих мест представляет собой лессовидные суглинки, в которых содержатся мощные жилы льда, а также примеси песка и супесей. Такие типы грунтов характерны для всех известных мест, где были найдены остатки мамонтов, и пред-

ставляют собой возвышенности ледового комплекса [9].

Бассейн р. Тирехтях представляет собой уникальное место, где были обнаружены крупные залежи мумий животных, живших в позднем плейстоцене. Даже на фоне других регионов Якутии, где также были найдены подобные находки, это место выделяется своей исключительностью. В последние годы на территории Тирехтяха были обнаружены удивительные находки: замороженные мумии двух шерстистых носорогов возрастом 32440 лет [2, 13]; полностью сохранившиеся туши двух детенышей пещерных львов, чей возраст составляет 43000 и 28000 лет [16]; мумифицированная голова древнего волка IFG88 40000–30000 лет [1, 12]; кусок шкуры шерстистого мамонта, из которого впервые в истории были выделены хромосомы, 52000 лет [5].

Эти находки свидетельствуют том, что место обитания мамонтовой фауны не подвергалось переотложению, что крайне важно для понимания процесса их формирования. Однако это не все важные открытия, сделанные на р. Тирехтях. Еще не опубликованные находки, такие как остатки росомых, пещерных медведей, волков и пещерных львов, имеют возраст от 25000 до 49500 лет, что также представляет значительный интерес для науки.

Помимо находок древних мумий, на р. Тирехтях активно ведется добыча мамонтовых бивней. Этот процесс сопровождается обнаружением ценных палеонтологических объектов, что делает его важным для науки. Добыча бивней осуществляется с использованием мотопомп и гидроразрыва грунта. Поиск скоплений происходит практически вслепую, что требует значительных затрат человеческого труда, времени и материальных ресурсов. Следует отметить, что добыча бивней не оказывает существенное влияние на экосистемы [3]. Однако остаются нерешенными вопросы легализации и введения этого промысла в хозяйственный оборот, несмотря на его значительную роль в формировании бюджета жителей арктических районов Якутии [9, 17].

Река Тирехтях протекает в северной части Абыйской низменности, которая образована отложениями позднего плейстоцена. Эти отложения окаймлены слоями, сформированными реками, озерами и делювиальными наносами (рис. 1). Территория, где протекает река, находится в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых

пород. На водоразделах их мощность достигает нескольких сотен метров [10, 19].

Все крупные озера связаны с речной системой через протоки и ежегодно заливаются. Поверхность поймы покрыта густыми зарослями ольховника и ивы, а также мхами и голубичной подстилкой. Вокруг озер и в межозерных низинах встречаются заросли ерника. Пойма реки испещрена морозобойными трещинами разного размера, которые формируют западинно-бугристый полигональный рельеф, покрытый листовенничным лесом. Современная пойма сложена из отложений руслового и пойменного аллювия (пески и легкие супеси). Иногда встречаются озерные отложения с небольшими голоценовыми повторно-жильными льдами и торфяниками.

Русло р. Тирехтях сильно меандрирует на всем ее протяжении. В пределах речной долины можно увидеть старичные озера. Многие из них осушены и превратились в извилистые заболоченные котловины. Днища древних меандр находятся на 2–3 м выше современного уровня реки. Низкую пойму образуют русловые отложения. Надпойменная терраса представляет собой ровную плоскую равнину с мелкобугристым рельефом, на которой растут ивовые и ерниковые заросли. На более высоких участках встречаются листовенничные зеленомошные редколесья в сочетании с ивняками. Основными литологическими типами отложений являются супеси.

Долины небольших рек, ручьев и ложбин временного стока особенно распространены в северной части исследуемого района. Едома представляет собой чрезвычайно льдистые многолетнемерзлые толщи, состоящие из смеси силикокластического материала (песка, алевроита и глины) и большого количества подземного льда в виде массивных ледяных жил и прослоев [7]. Формирование едомы происходило в позднем плейстоцене, в условиях холодного аридного климата и специфического ландшафта тундростепи. Едомные массивы испещрены аласами и глубокими оврагами, которые возникают в результате таяния подземного льда. Отложения едомы характеризуются высокой льдистостью, достигающей 70–80 % [6]. Мощность повторно-жильных льдов может составлять десятки метров. Текстурирующий лед в грунтовых блоках едомы также содержит значительное количество льда [18]. Едома имеет сложное послойное строение, отражающее изменения условий седиментации

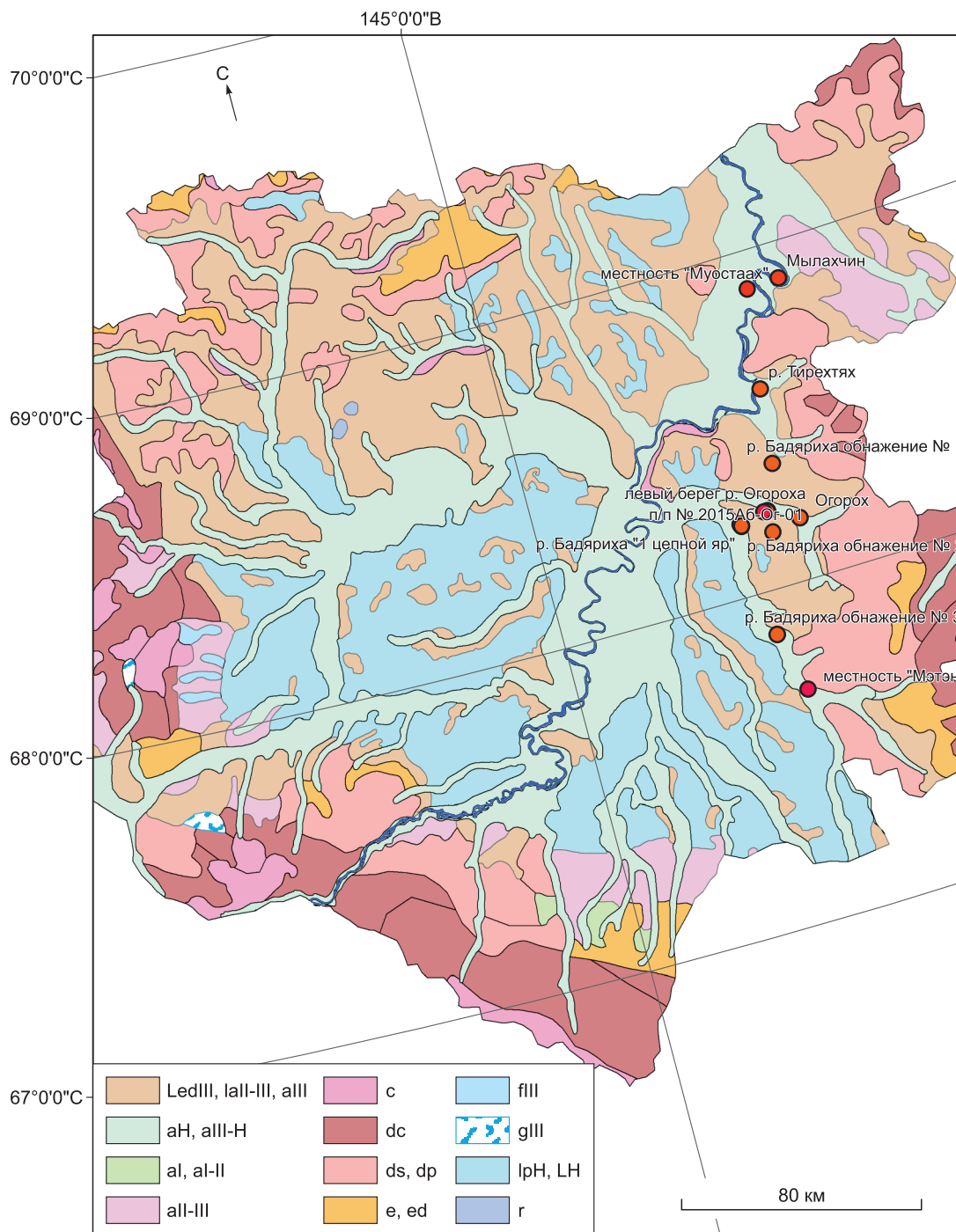


Рис. 1. Карта четвертичных отложений Абыйского улуса Республики Саха (Якутия): Led III, IaII-III, aIII – лессово-ледовый комплекс, озерно-аллювиальные отложения средне-верхнеоплейстоценовые; aH, aIII-H – аллювий верхнеоплейстоценовый и голоценовый; aI, aI-II – аллювий нижне-среднеоплейстоценовый; aII-III – аллювий средне-верхнеоплейстоценовый; c – коллювий; dc – делювиально-коллювиальные отложения; ds – делювиально-солифлюкционные отложения; dp – делювиально-пролювиальные отложения; e, ed – элювий; fIII – водно-ледниковые отложения; gIII – ледниковые отложения; IpH, LH – озерно-болотные отложения голоцена; r – русловой аллювий

Fig. 1. Quaternary geology map of the Abyiskiy District, Republic of Sakha (Yakutia): Led III, IaII-III, aIII – loess-ice complex, lake-alluvial deposits of the Middle-Upper Pleistocene; aH, aIII-H – upper Pleistocene and Holocene alluvium; aI, aI-II – lower-Middle Pleistocene alluvium; aII-III – middle-Upper Pleistocene alluvium; c – colluvium; dc – deluvial-colluvial deposits; ds – deluvial-solifluction deposits; dp – deluvial-proluvial deposits; e, ed – eluvium; fIII – water-glacial deposits; gIII – glacial deposits; IpH, LH – lake-marsh deposits of the Holocene; r – channel alluvium

**Геокриологические условия залегания остатков животных мамонтовой фауны
(на основе геопространственной привязки находок
к ИГК РС (Я) ИМЗ СО РАН масштаб 1:1500000)**

**Geocryological conditions associated with the occurrence of mammoth fauna remains
(based on the geospatial correlation of finds with the Engineering-Geological Map
of the Republic of Sakha (Yakutia), Permafrost Institute,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, scale 1:1,500,000)**

Льдистость грунтов, %		Физические свойства грунтов, %	
Шерстистые мамонты			
Слабая	43	Твердомерзлые	91
Сильная	30	Пластичномерзлые	8
Средняя	26	Высокотемпературные прочные	0
Массовые скопления костных остатков животных мамонтовой фауны			
Слабая	45	Твердомерзлые	59
Сильная	23	Пластичномерзлые	25
Средняя	30	Высокотемпературные прочные	14

и промерзания. Это подтверждается уникальными находками пещерных львят Бориса и Спарты в бассейне р. Индигирка. Согласно радиоуглеродному анализу, Борис жил около 43000 лет назад, а Спарта – около 28000.

На формирование едомы значительное влияние оказал процесс осадконакопления, который привел к накоплению преимущественно пылеватых частиц – алевритов. Источниками материала для этих осадков были открытые участки шельфа, поймы рек и ледниковые отложения, которые развевались ветром и откладывались на поверхности. Едома начала формироваться не после того, как все осадки были накоплены, а одновременно с их отложением. По мере того, как на поверхности нарастала новая порция осадка, снизу сразу происходило его промерзание, что происходило к образованию ледяных жил. Этот процесс длился долго и постоянно.

Едома представляет собой законсервированную среду неоплейстоценовой тундростепи ледникового периода. Растительность тундростепи была основой пищевой цепи, а вмёрзшие в лед осадки сохранили органику и остатки животных мамонтовой фауны.

Анализ геокриологических условий, в которых были найдены остатки мамонтов (см. таблицу), показал, что для этих находок и массовых скоплений характерна слабая льдистость грунтов и их твердомерзлые физические свойства. Слабая льдистость означает, что в момент промерзания в порах грунта было мало миграционной воды. Твердомерзлые физические свойства грунта указывают на то, что его температура зна-

чительно ниже 0 °С. Это означает, что весь поровый лед и лед-цемент прочно связывают минеральные частицы. В составе отложений широко распространены суглинки, пески и супеси. Все они характеризуются обширной льдистостью и наличием небольших повторно-жильных льдов, образовавшихся в голоцене [8].

На основе дешифрирования космического снимка высокого разрешения Sentinel-2 и с учетом данных полевых исследований, а также геолого-геоморфологического анализа была составлена обзорная схематическая карта исследуемой территории с геоморфологическим микрорайонированием. Этот метод включает в себя анализ спектральных характеристик, морфоструктурного рисунка местности и текстурных признаков для определения границ различных генетических типов отложений (рис. 2).

По данным космических снимков и ЦМР была составлена карта уклонов рельефа местности. На этой карте (рис. 3) также отмечены районы, где распространены лессово-ледовые отложения – важный индикатор для обнаружения остатков животных мамонтовой фауны. Сопоставив результаты полевых экспедиций с картой уклонов рельефа, можно выделить участки, где с большой вероятностью будут найдены ископаемые остатки.

Места с крутыми склонами представляют собой естественные разрезы, которые открывают взгляду едомную толщу. Когда лед, образующий каркас едомы, тает, эта толща разрушается. Кости и туши, высвободившись из мерзлоты, сползают или падают к подножию склона. Именно здесь, у этих обрывов, чаще всего находят иско-

паемые остатки. Таким образом, можно сделать вывод, что территории с умеренным уклоном могут быть наиболее подходящими для поиска ископаемой мамонтовой кости (ИМК) с попутным сбором. Они обеспечивают достаточное количество обнажений, что облегчает поиск.

Плоскоравнинные участки и низины вокруг рек и озер также могут быть перспективными местами для поиска и сбора остатков мамонтовой фауны. Склоны, особенно в областях, где наблюдается эрозионная деятельность, могут стать ключевыми участками для мониторинга, так как здесь часто обнажаются ископаемые остатки представителей мамонтовой фауны. Однако на пологих участках, где нет активной эрозии, едомная толща сохраняется в нетронутom виде. Здесь, глубоко вмерзшие в толщу, находятся остатки мамонтовой фауны. Чтобы их обнаружить, необходимо провести целенаправленное бурение или искусственное вскрытие.

Для повышения эффективности поисковых работ, в том числе с использованием методов ди-

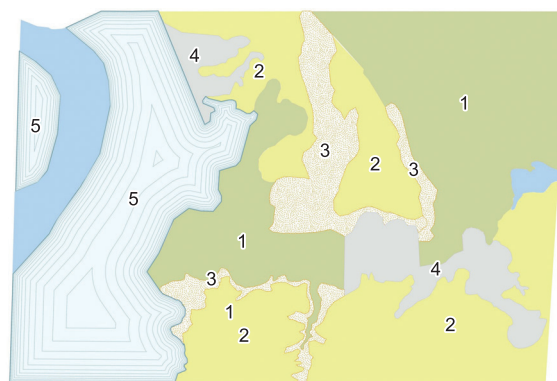


Рис. 2. Геоморфологическая карта района исследований (1:50000).

1 – делювиально-солифлюкционные склоны; 2 – приводораздельные части едомы (лед.); 3 – склоновые едомы (лед.); 4 – антропогенно-нарушенные едомы (лед.); 5 – пойма рек Индигирка и Тирехтях

Fig. 2. Geomorphological map of the research area (scale 1:50000).

Legend: 1 – Deluvial-solifluction slopes; 2 – Watershed areas of Yedoma; 3 – Slopes of Yedoma; 4 – Anthropogenically disturbed Yedoma; 5 – Floodplain of the Indigirka and Tirektyakh rivers

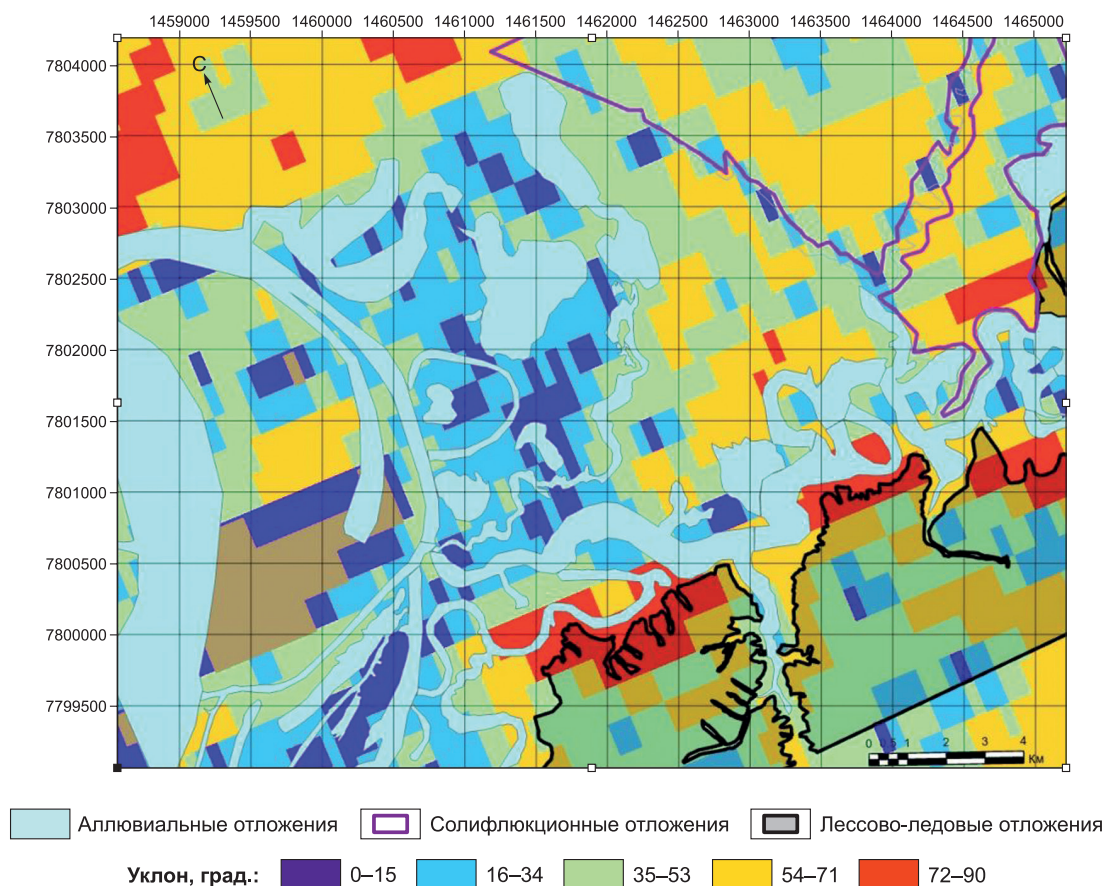


Рис. 3. Совмещенная карта уклонов рельефа и четвертичных отложений на р. Тирехтях

Fig. 3. Combined map of slope relief and Quaternary sediments along the Tirektyakh River

станционного зондирования, крайне важно иметь четкие и надежные геоморфологические критерии.

Результаты исследования показывают, что наиболее перспективными участками для обнаружения скоплений остатков животных мамонтовой фауны являются с уклоном от 72 до 90° в пределах едомных массивов.

На склонах с уклоном от 35 до 71° активизируются процессы термоэрозии и оползания. Здесь обнажения встречаются чаще, но, как правило, носят локальный и постоянный характер.

На склонах с уклоном от 0 до 34° процессы термоденудации и солифлюкции протекают относительно медленно. Они приводят к постепенному «сползанию» и переотложению палеонтологических находок, часто без значительного обнажения глубоких горизонтов едомы, содержащих ископаемые остатки. Кости, которые появляются на поверхности, могут быть быстро погребены под делювиальным чехлом.

Таким образом, становится ясным, что концентрация остатков мамонтовой фауны на склонах с уклоном 72–90° не является случайной. Она напрямую связана с активными криогенно-денудационными процессами, которые играют ключевую роль в формировании местонахождений ископаемых остатков. Эти склоны выступают в роли естественных природных «хранилищ», где происходят вынос, очищение от вмещающей породы и накопление костного материала.

Из этого следует, что целенаправленный поиск и картографирование подобных геоморфологических элементов с последующей их проверкой на местности является научно обоснованным и действенным методом прогнозирования новых залежей мамонтовой фауны в условиях полярных ландшафтов.

Заключение

В ходе исследования проведен всесторонний анализ условий, в которых сохраняются остатки мамонтовой фауны в пределах едомных массивов на северо-востоке Якутии. Внимание сосредоточено не на традиционном описании отдельных палеонтологических находок, а на поиске системных геоморфологических закономерностей, определяющих пространственное размещение ископаемых остатков.

Для выявления этих закономерностей применялись методы дистанционного зондирования Земли и геоинформационного моделирования. В единой ГИС объединены космические снимки

высокого разрешения, цифровые модели рельефа и данные полевых исследований. Это позволило перевести наблюдения в количественное измерение. На основе полученных данных составлены карты четвертичных отложений и уклонов рельефа, которые стали не просто иллюстративным материалом, но и аналитической основой для проверки рабочих гипотез. Особенно важной оказалась выявленная связь между большими значениями уклона (в диапазоне от 72 до 90°) и концентрацией палеонтологических находок. Это указывает на то, что современная криогенно-динамическая обстановка не просто обнажает ископаемые, а активно перераспределяет и накапливает их у подножия крутых склонов и обрывов. Данные места служат естественными хранилищами для костных остатков, которые высвобождаются и аккумулируются в результате активных процессов термоэрозии, оползания и солифлюкции.

Таким образом, формирование известных на сегодня местонахождений мамонтовой фауны происходило в два этапа. По всей видимости, первоначальное захоронение животных действительно могло происходить в условиях осадконакопления позднего плейстоцена, таких как палеорусле, поймы и старичные озера, что подтверждается литологическим составом вмещающих пород. Однако современная картина их размещения во многом определяется интенсивными процессами, происходящими в голоцене и в настоящее время. Крутые склоны едомных массивов, которые разрушаются из-за таяния полигонально-жильных льдов, являются основными источниками ископаемого материала для выхода на поверхность. Это объясняет, почему массовые скопления остатков так часто встречаются именно у береговых обрывов рек и озер, а не на плоских водораздельных пространствах.

Практическая значимость этой работы заключается в переходе от случайного поиска, который часто зависит от удачи, к целенаправленному и научно обоснованному прогнозированию.

Выделенный критерий – картографирование участков с большими уклонами в пределах едомных массивов предлагает точный и проверяемый инструмент для планирования поисковых работ. Это значительно повышает их эффективность, позволяет более разумно использовать ресурсы и снижает негативное воздействие на хрупкие арктические экосистемы. Кроме того, полученные данные помогают решить актуальные

социально-экономические вопросы, связанные с традиционным промыслом по добыче ИМК, предлагая пути для его возможной научной поддержки и регулирования.

Список литературы / References

1. Bergström D., Stanton W.G., Taron U.H., et al. Grey wolf genomic history reveals a dual ancestry of dogs. *Nature*. 2022; 607(7918):313–320; <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04824-9> EDN: VUNBNU
2. Boeskorov G.G., Chernova O.F., Protopopov A.V., et al. Frozen mummy of a subadult woolly rhinoceros *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799) from the Late Pleistocene of Yakutia. *Doklady Earth Sciences*. 2024;518:1527–1533. <https://doi.org/10.1134/S1028334X24602438> EDN: BGHNDM
3. Legostaeva J.B., Sivtseva N.E., Popov V.F., et al. Geocological aspects of collecting fossil remains of mammoth fauna. *Paleontological Journal*. 2023;57(S1):112–125. <https://doi.org/10.1134/s003103012360021x> EDN: LAROTQ
4. Lewkowicz A.G., O'Neill T.S., Rezvan A.B.M., et al. *Glossary of permafrost science and engineering*. Canadian Permafrost Association: University of Toronto Press; 2025. 158 p.
5. Sandoval-Velasco M., Dudchenko O., Rodríguez J.A., et al. Three-dimensional genome architecture persists in a 52,000-year-old woolly mammoth skin sample. *Cell*. 2024;187(14):3541–3562. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2024.06.002> EDN: AZMKQJ
6. Strauss J., Schirrmeyer L., Grosse G., et al. The deep permafrost carbon pool of the Yedoma region in Siberia and Alaska. *Geophysical Research Letters*. 2013;16;40(23):6165–6170. <https://doi.org/10.1002/2013GL058088>.
7. Васильчук Ю.К. Сингенетичность и цикличность едомных толщ севера Якутии. *Арктика и Антарктика*. 2020;(2):34–64. <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2020.2.32917>. EDN ELWKTA.
- Vasil'chuk Yu.K. Syngenetic and cyclical Yedom strata of the northern Yakutia. *Arctic and Antarctic*. 2020;(2):34–64. (In Russ.) <https://doi.org/10.7256/2453-8922.2020.2.32917>. EDN ELWKTA.
8. Величко А.А. *Природный процесс в плейстоцене*. М.: Наука; 1973. 253 с.
- Velichko A.A. *The natural process in the Pleistocene*. Moscow: Nauka; 1973. 256 p.
9. Кириллова И.В., Чернова О.Ф., Кукарских В.В. и др. Первая находка носорога рода *Stephanorhinus* в Арктической Азии. *Доклады Академии наук*. 2016;471(6):746–749. <https://doi.org/10.7868/S0869565216360287> EDN: XGWHND
- Kirillova I.V., Shidlovskiy F.K., Chernova O.F., et al. The first finding of a rhinoceros of the genus *Stephanorhinus* in Arctic Asia *Doklady Biological Sciences*. 2016;471(1): 300–303. <https://doi.org/10.1134/S0012496616060132> EDN: YUXGER
10. Соловьев П.А. Многолетняя мерзлота (криолитозона). В кн.: *Атлас сельского хозяйства Якутской АССР*. М.: ГУГК СССР; 1989. С. 27. EDN UYTEYN
- Solovyov P.A. Permafrost (cryolithozone). In: *Atlas of agriculture of the Yakut USSR*. Moscow: GUGK USSR; 1989. P. 27. EDN UYTEYN
11. Обручев В.А. *Геология Сибири*: в 3 т. М.; Л.: Издательство Академии наук СССР; 1935–1938. 620 с.
- Obruchev V.A. *Geology of Siberia*: Three Vol. Moscow; Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1935. 620 p.
12. Плотников В.В., Протопопов А.В. Ископаемый волк (*Canis sp.*) из среднего течения реки Индигирка, верхний плейстоцен Якутии. *Зоологический журнал*. 2022;101(6):1–10. <https://doi.org/10.31857/S0044513422060083> EDN: BZSMGF
- Plotnikov V.V., Protopopov A.V. Fossil wolf (*Canis sp.*) from the middle reaches of the Indigirka River, Upper Pleistocene of Yakutia. *Zoological Journal*. 2022;101(6):1–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0044513422060083> EDN: BZSMGF
13. Потравный И.М., Протопопов А.В., Гассий В.В. Добыча бивней мамонта как вид традиционного природопользования. *Арктика: экология и экономика*. 2020;37(1):109–121. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-1-109-121>. EDN FHZHIJ
- Potravny I.M., Protopopov A.V., Gassiy V.V. Mammoth tusks getting as a type of traditional nature management. *Arctic: Ecology and Economics*. 2020;37(1):109–121. (In Russ.) <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2020-1-109-121>. EDN FHZHIJ
14. Протопопов А.В. Динамика наземных экосистем Якутии в позднем плейстоцене и голоцене. Якутск: Алаас; 2017. 412 с.
- Protopopov A.V. *Dynamics of Yakutia's terrestrial ecosystems in the Late Pleistocene and Holocene*. Yakutsk: Alaas; 2017. 412 p. (In Russ.)
15. Смирнов А.Н. Ископаемая мамонтовая кость. В кн.: *Труды НИИГА-ВНИИОкеангеология*. СПб.: ВНИИОкеангеология; 2003. 172 с.
- Smirnov A.N. The fossil mammoth bone. In: *Proceedings of VNIIOkeangeologia*. St. Petersburg: VNIIOkeangeologia; 2003. 172 p. (In Russ.)
16. Чернова О.Ф., Протопопов А.В., Боесков Г.Г. и др. Первое описание шерсти двух детенышей ископаемого пещерного льва *Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810), найденных в Якутии в 2017 и 2018 гг. *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни*. 2020;492(1):260–266. <https://doi.org/10.31857/S2686738920030026> EDN EFGHBQ
- Chernova O.F., Protopopov A.V., Boeskorov G.G., et al. First description of the fur of two cubs of fossil cave lion *Panthera spelaea* (Goldfuss, 1810), found in Yakutia in 2017 and 2018. *Doklady Biological Sciences*. 2020;492(1):93–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0012496620030011> EDN NLXASL
17. Чернова О.Ф., Протопопов А.В., Перфилова Т.В. и др. Микроструктура волос впервые найденного детеныша шерстистого носорога *Coelodonta antiquitatis*. *Доклады Академии наук*. 2016;471(5):613–617. <https://doi.org/10.7868/S0869565216350279> EDN: XGWHBF
- Chernova O.F., Protopopov A.V., Perfilova T.V., et al. Hair microstructure of the first time found calf of woolly rhinoceros *Coelodonta antiquitatis*. *Doklady Biological Sciences*. 2016;471(1): 291–295. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0012496616060090> EDN YUXGGP
18. Шепелев А.Г., Черепанова А.М. Мерзлотные ландшафты Верхоянского района на примере Батагайского провала и Кисильяхской гряды (Северная Якутия). *Современные проблемы территориального развития*. 2019;(3):1–4. EDN: MQPEBP
- Shepelev A.G., Cherepanova A.M. Permafrost landscapes of Verkhoyansky district using the example of Batagaisky basin and Kisilyakh range, Northern Yakutia. *Modern Problems of TERRITORIAL DEVELOPMENT*. 2019;(3):1–4. (In Russ.) EDN: MQPEBP
19. Петухова Е.С., Христофоров И.И., Чепрасов М.Ю. и др. С дроном за мамонтами. *Природа*. 2023;(7):3–19. <https://doi.org/10.7868/S0032874X23070013> EDN: TVZNR
- Petukhova E.S., Khristoforov I.I., Cheprasov M.Yu., et al. After Mammoths with a Drone. *Nauka*. 2023;(7):3–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0032874X23070013> EDN: TVZNR

Об авторе

НЕСТЕРОВА Екатерина Алексеевна, младший научный сотрудник, Академия наук РС (Я), г. Якутск, Российская Федерация; младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр СО РАН», г. Якутск, Российская Федерация, <https://orcid.org/0000-0002-9631-1289>, ResearcherID: ADJ-9386-2022, SPIN: 9496-4841, e-mail: katretea@mail.ru

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

About the author

NESTEROVA, Ekaterina Alekseevna, Junior Researcher, Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation; Junior Researcher, Federal Research Center “The Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Yakutsk, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-9631-1289>, ResearcherID: ADJ-9386-2022, SPIN: 9496-4841, e-mail: katretea@mail.ru

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 25.05.2025

Поступила после рецензирования / Revised 14.01.2026

Принята к публикации / Accepted 17.02.2026